

# جروب يلا نذاكر ثانوية عامة ٢٠٢١ الفيزياء

الجزء الخاص بالشرح



3  
الصفحة  
الثنوى ar

الامتحان 2021

# الفيزياء

الجزء الخاص  
بالشـرح

جروب يلا نذاكر ثانوية عامة ٢٠٢١

3  
الصفحة  
الثانوى

الامتحان 2021

إعداد  
نخبة من خبراء التعليم

حقوق الطبع محفوظة

الدولية للطبع والنشر والتوزيع  
القاهرة - ت/٢٥٨٨٨٨٨٦



# جروب يلا نذاكر ثانوية عامة ٢٠٢١

## بطاقة فهرسة

فهرسة أثناء النشر إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية  
إدارة الشؤون الفنية

سلسلة الامتحان فى الفيزياء

إعداد/ نخبة من خبراء التعليم

ط ١ - القاهرة : الدولية للطبع والنشر والتوزيع ، ٢٠٢١

(٢ مج) : ٢٣ سم (سلسلة الامتحان) «للتانوية العامة»

**المحتويات :** (ج ١) كتاب الأسئلة والمسائل والإجابات.

(ج ٢) كتاب الشرح.

تدمك : ٣ - ٧٠١ - ٤٧٥ - ٩٧٧ - ٩٧٨

١- الفيزياء - تعليم وتدریس

٢- التعليم الثانوى

٢٠٠٧

رقم الإيداع : ٩٩٩٠ / ٢٠٢٠

## تَنَوِي

يمكنك الاطلاع على الأجزاء التى لم يتم دراستها  
من منهج الفصل الدراسى الثانى للعام السابق  
من خلال مسح **QR Code** المقابل.





# يتضمن كتاب الامتحان جزئين

## الجزء الخاص بالشرح

يتضمن

• رسومات توضيحية ومخططات لعرض  
المادة العلمية بشكل مبسط.

• أمثلة محلولة بهدف تدريب الطالب على  
كيفية الحل والوصول إلى الناتج النهائي.

## الجزء الخاص بالأسئلة والمسائل والإجابات

يتضمن

• أسئلة عامة على كل درس بنظام «Open book»  
وتشمل : • أسئلة اختيار من متعدد.  
• أسئلة مقالية. • مسائل.

• مقاطع فيديو لمشاهدة حلول بعض المسائل  
من خلال مسح «QR code» المتضمن.

• إجابات أسئلة الكتاب.

## قيم نفسك إلكترونياً



• اختبار إلكتروني على كل درس،  
حيث يمكنك بعد الانتهاء من الاختبار عرض تقرير مفصل بالإجابات  
الصحيحة والخاطئة.

# محتويات الكتاب

- أساسيات فيزيائية هامة.
- خطوات استخدام الآلة الحاسبة لحل معادلات من الدرجة الأولى في ثلاثة مجاهيل.
- الكميات الفيزيائية الواردة بالمنهج ورموزها ووحدات قياسها.

## الكهرية التيارية والكهرومغناطيسية

### الوحدة الأولى

#### 1 الفصل التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرشوف.

- الحرس الأول : التيار الكهربى وقانون أوم.
- الحرس الثانى : توصيل المقاومات.
- الحرس الثالث : قانون أوم للدائرة المغلقة.
- الحرس الرابع : قانونا كيرشوف.

#### 2 الفصل التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

- الحرس الأول : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى.
- الحرس الثانى : تابع التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى.
- الحرس الثالث : • القوة المغناطيسية.
- الحرس الرابع : أجهزة القياس الكهربى.

#### 3 الفصل الحث الكهرومغناطيسى.

- الحرس الأول : • قانون فاراداي.
- الحرس الثانى : • الحث المتبادل بين ملفين.
- الحرس الثالث : المولد الكهربى.
- الحرس الرابع : المحول الكهربى.
- القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم.
- الحث الذاتى لملف.
- المحرك الكهربى.

## 4 الفصل دوائر التيار المتردد.

الحرس الأول : دوائر التيار المتردد.

الحرس الثاني : تابع دوائر التيار المتردد.

الحرس الثالث : • الدائرة المهتزة.

• دائرة الرنين.

## الوحدة الثانية مقدمة في الفيزياء الحديثة

## 5 الفصل ازدواجية الموجة والجسيم.

الحرس الأول : • إشعاع الجسم الأسود.

• الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى.

الحرس الثاني : • ظاهرة كومبتون.

• الطبيعة الموجية للجسيم.

• المجهر الإلكتروني.

## 6 الفصل الأطياف الذرية.

## 7 الفصل الليزر.

## 8 الفصل الإلكترونيات الحديثة.

الحرس الأول : • بلورة شبه الموصل.

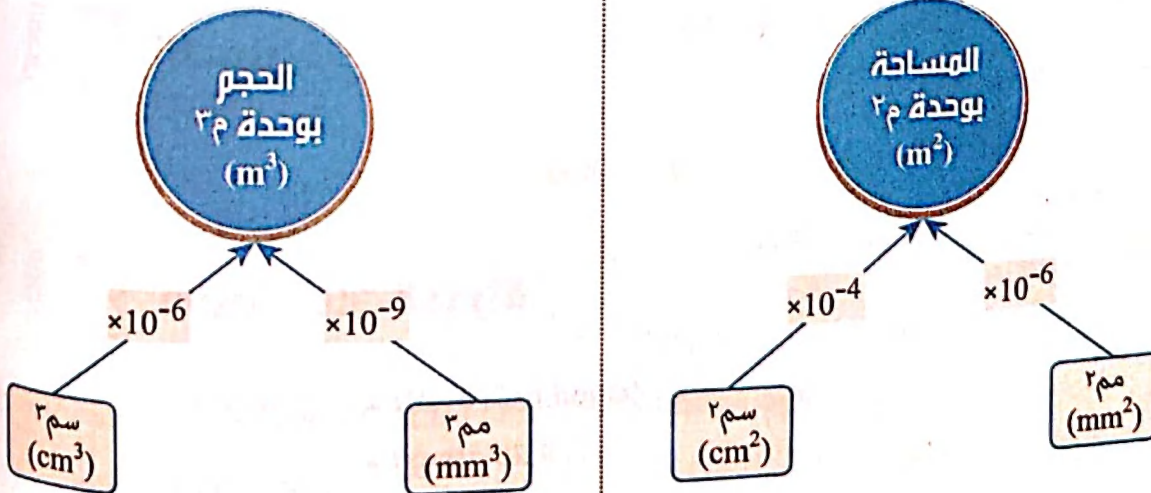
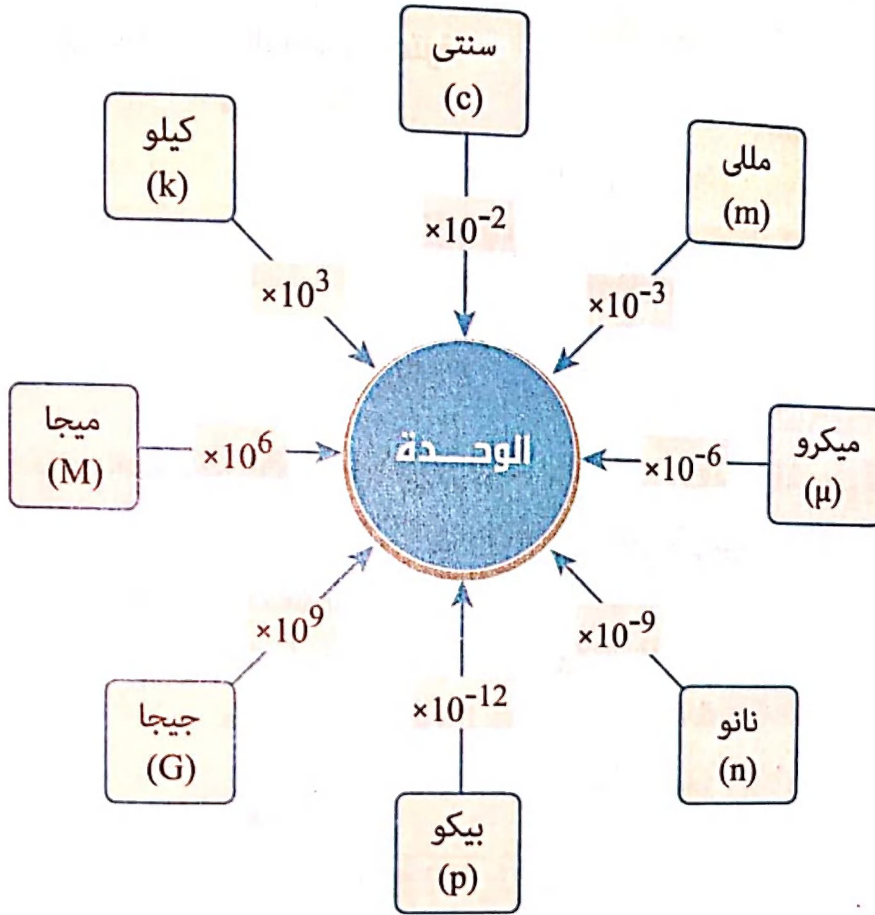
• الوصلة الثنائية.

الحرس الثاني : • الترانزستور.

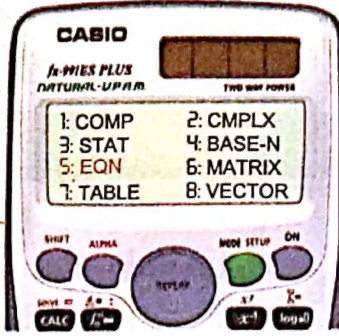
• الإلكترونيات التناظرية والرقمية.

# أساسيات فيزيائية هامة

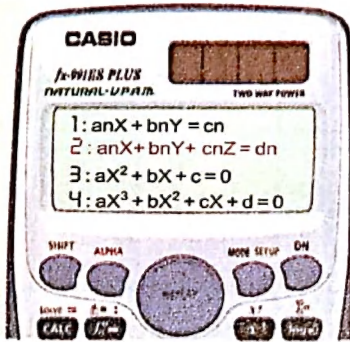
## تحويل الكسور والمضاعفات إلى الوحدات العملية



# خطوات استخدام الآلة الحاسبة لحل معادلات من الدرجة الأولى في ثلاثة مجاهيل

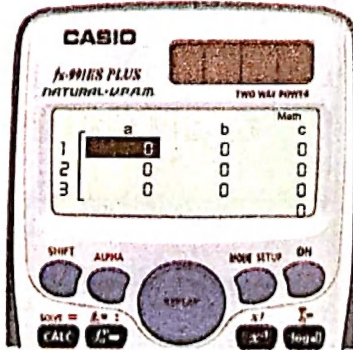


١ ضغط زر **MODE** فتظهر لنا الشاشة المقابلة.



٢ ضغط الرقم الدال على **EQN** لاختيار صيغة المعادلات فتظهر لنا الشاشة المقابلة بحيث يدل رقم الاختيار على صيغة المعادلات كالتالي :

- ١ معادلة من الدرجة الأولى في مجهولين.
- ٢ معادلة من الدرجة الأولى في ثلاثة مجاهيل.
- ٣ معادلة من الدرجة الثانية في مجهول واحد.
- ٤ معادلة من الدرجة الثالثة في مجهول واحد.



٣ ضغط رقم **2** لاختيار صيغة المعادلات من الدرجة الأولى في ثلاثة مجاهيل فتظهر لنا الشاشة المقابلة. نقوم بإدخال المعاملات الخاصة بكل مجهول على حدة بحيث نكتب من المعادلة الأولى قيمة **a** ثم نضغط = ثم قيمة **b** ونضغط = وكذلك بالنسبة لـ **c** ، **d** فتظهر لنا تلك البيانات بالتتابع في السطر الأول على الشاشة المقابلة.

٤ نطبق الخطوة السابقة على المعادلتين الثانية والثالثة لإدخال باقي المعاملات.

٥ لنحصل على قيم المجاهيل الثلاثة بعد إدخال جميع المعاملات نضغط = فتظهر لنا على الشاشة قيمة **X** وبالمثل نضغط = فتظهر لنا قيمة **Y** وكذلك بالنسبة لـ **Z**

# الكميات الفيزيائية

## الواردة بالمنهج ورموزها ووحدات قياسها

وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	الرمز	الكمية الفيزيائية
$J = \text{watt.s}$ $= V.C$	W	الشغل المبذول
$C = J.V^{-1}$ $= A.s$ $= V.s. \Omega^{-1}$	Q	كمية الكهرباء (الشحنة الكهربائية)
$A = C.s^{-1}$ $= V. \Omega^{-1}$	I	شدة التيار الكهربى
$V = J.C^{-1}$ $= A. \Omega$	V	فرق الجهد
$\Omega = V.A^{-1}$	R	المقاومة الكهربائية لموصل
m	l	طول سلك أو طول ملف حلزوني
m <sup>2</sup>	A	مساحة وجه الملف
$\Omega.m$ $= V.A^{-1}.m$	$\rho_e$	المقاومة النوعية
$\Omega^{-1}.m^{-1}$ $= V^{-1}.A.m^{-1}$	$\sigma$ «سيجما»	التوصيلية الكهربائية
V	V <sub>B</sub>	القوة الدافعة الكهربائية لبطارية
$\Omega$	r	المقاومة الداخلية لبطارية
weber = N.m/A $= V.s = T.m^2$	$\phi_m$	الفيض المغناطيسى
tesla = N/A.m $= \text{weber}/m^2 = V.s.m^{-2}$	B	كثافة الفيض المغناطيسى

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها
معامل النفاذية المغناطيسية	$\mu$ «ميو»	وبر/أمبير.متر = تسلا.م/أمبير
عدد لفات ملف دائري أو حلزوني	N	لفة
عدد لفات ملف حلزوني لوحدة الأطوال	n	لفة/متر
القوة المغناطيسية	F	نيوتن = كجم.م/ثانية <sup>2</sup>
عزم الازدواج المغناطيسي	$\tau$ «تاو»	نيوتن.متر = كجم.م <sup>2</sup> /ثانية <sup>2</sup>
عزم ثنائي القطب المغناطيسي	$ \vec{m}_d $	نيوتن.متر/تسلا = كجم.م <sup>2</sup> /ثانية <sup>2</sup> .تسلا = أمبير.م <sup>2</sup>
مقاومة مجزئ التيار	$R_s$	أوم
مقاومة مضاعف الجهد	$R_m$	أوم
القوة الدافعة الكهربائية المستحثة اللحظية	emf	فولت
معامل الحث المتبادل بين ملفين	M	هنري = وبر/أمبير = تسلا.متر <sup>2</sup> /أمبير
معامل الحث الذاتي لملف	L	= فولت.ثانية/أمبير = أوم.ثانية
السرعة الزاوية	$\omega$ «أوميغا»	راديان/ثانية
التردد (عدد دورات الملف في الثانية)	f	هيرتز = ثانية <sup>-1</sup>
القوة الدافعة الكهربائية الفعالة	$(emf)_{eff}$	فولت
القيمة الفعالة للتيار المتردد	$I_{eff}$	أمبير
كفاءة المحول الكهربى	$\eta$	—
المفاعلة الحثية لملف	$X_L$	أوم
سعة المكثف	C	فاراد = كولوم/فولت
المفاعلة السعوية لمكثف	$X_C$	أوم
المعاوقة	Z	أوم

وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة لها	الرمز	الكمية الفيزيائية
m	متر	$\lambda_m$ الطول الموجي عند أقصى شدة إشعاع
J	جول	E طاقة الفوتون
Hz = s <sup>-1</sup>	هيرتز = ثانية <sup>-1</sup>	$\nu_c$ التردد الحرج
J	جول	E <sub>w</sub> دالة الشغل لسطح
kg	كجم	m <sub>e</sub> كتلة الإلكترون
C	كولوم	e شحنة الإلكترون
photon/s	فوتون/ثانية	$\phi_L$ معدل سقوط الفوتونات
J.s = kg.m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	جول.ثانية = كجم.م <sup>2</sup> .ثانية <sup>-1</sup>	h ثابت بلانك
kg.m/s	كجم.م/ثانية	P <sub>L</sub> كمية الحركة الخطية
N	نيوتن	F القوة المؤثرة من حزمة فوتونات
watt = J.s <sup>-1</sup> = A <sup>2</sup> .Ω = V.A = V <sup>2</sup> /Ω	وات = جول.ثانية <sup>-1</sup> = أمبير <sup>2</sup> .أوم = فولت.أمبير = فولت <sup>2</sup> /أوم	P <sub>w</sub> القدرة
cm <sup>-3</sup>	سم <sup>-3</sup>	n تركيز الإلكترونات الحرة
cm <sup>-3</sup>	سم <sup>-3</sup>	p تركيز الفجوات
cm <sup>-3</sup>	سم <sup>-3</sup>	N <sub>D</sub> <sup>+</sup> تركيز أيونات الشوائب المعطية
cm <sup>-3</sup>	سم <sup>-3</sup>	N <sub>A</sub> <sup>-</sup> تركيز أيونات الشوائب المستقبلة
—	—	α <sub>e</sub> نسبة التوزيع
—	—	β <sub>e</sub> نسبة تكبير الترانزستور
A	أمبير	I <sub>E</sub> تيار الباعث
A	أمبير	I <sub>C</sub> تيار المجمع
A	أمبير	I <sub>B</sub> تيار القاعدة



## الوحدة الأولى

الكهربية التيارية  
والكهرومغناطيسية

## التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرشوف

# الفصل 1

التيار الكهربى وقانون أوم.

الدرس الأول

توصيل المقاومات.

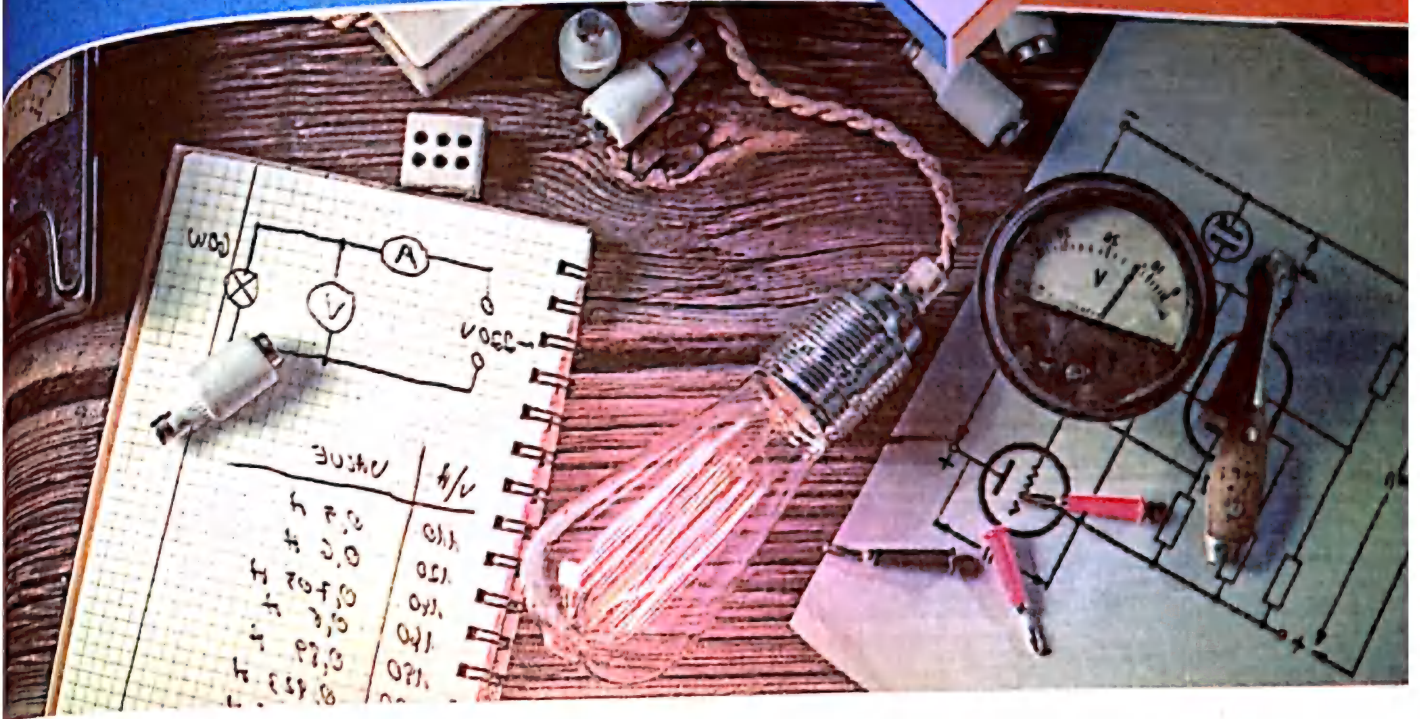
الدرس الثانى

قانون أوم للدائرة المغلقة.

الدرس الثالث

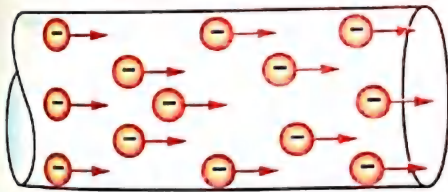
قانونا كيرشوف.

الدرس الرابع



\* لم تصبح الكهربائية جزءاً أساسياً من حياتنا اليومية إلا عندما توصل العلماء إلى كيفية التحكم فى حركة الشحنات الكهربائية الحرة الموجودة فى المواد والتي تؤدي حركتها إلى مرور التيار الكهربى.

### التيار الكهربى



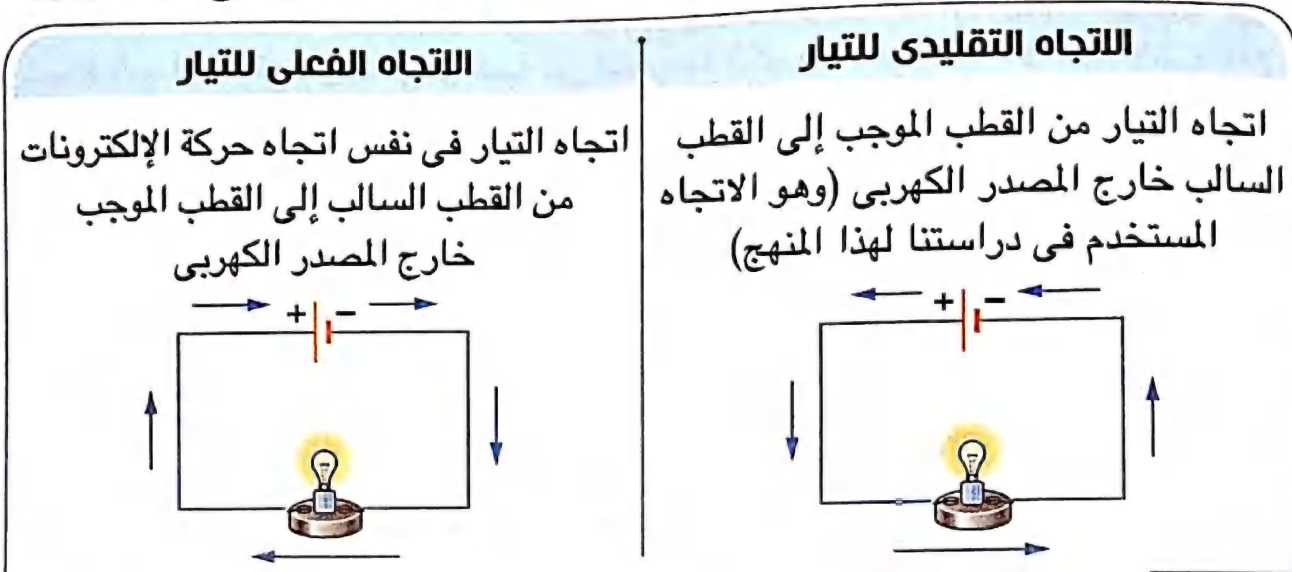
فيض من الشحنات الكهربائية تسرى خلال الموصلات.

\* يمكن تقسيم المواد الصلبة من حيث قدرتها على التوصيل الكهربى إلى :

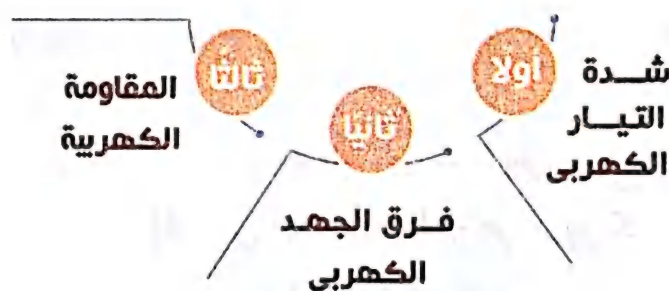
مواد عازلة	أشباه موصلات	مواد موصلة
لا تحتوى على وفرة من الإلكترونات الحرة فلا تسمح بمرور التيار الكهربى	مواد توصيليتها الكهربائية وسط بين الموصلات والعازلات	تحتوى على وفرة من الإلكترونات الحرة فتسمح بمرور التيار الكهربى
أمثلة		
- اللافلزات مثل الكبريت. - الخشب. - المطاط.	- السيليكون. - الجرمانيوم.	- الفلزات مثل النحاس.

\* يلزم لمرور تيار كهربى وجود مصدر كهربى (بطارية) متصل بدائرة كهربية مغلقة.

\* نظراً لأن اكتشاف الكهرباء التيارية سبق اكتشاف الإلكترونات، فقد اصطلح على أن يكون :



\* فيما يلى سنقوم بمراجعة بعض المفاهيم المتعلقة بالتيار الكهربى والتى سبق أن درستها، مثل :



## أولاً شدة التيار الكهربى

### شدة التيار الكهربى (I)

تقدر بكمية الشحنة الكهربائية المارة خلال مقطع من موصل فى زمن قدره 1 ثانية.

$$I = \frac{Q}{t}$$

\* تتعين شدة التيار الكهربى من العلاقة :

حيث : (Q) كمية الشحنة الكهربائية وتقاس بوحدة الكولوم (C)،

(t) الزمن ويقاس بوحدة الثانية (s).

$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow A \text{ (أمبير)} = \frac{C \text{ (كولوم)}}{s \text{ (ثانية)}}$$

\* تقاس شدة التيار الكهربى بوحدة

الأمبير (A) وتكافئ كولوم/ثانية (C/s).

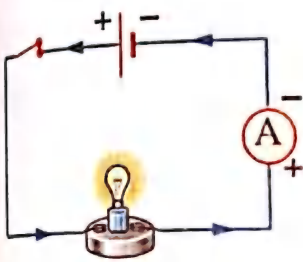
\* مما سبق يمكن تعريف الأمبير والكولوم كما يلي :

### الأمبير

شدة التيار الناتج عن سريان كمية من الشحنة الكهربائية مقدارها 1 كولوم خلال مقطع من موصل في زمن قدره 1 ثانية.

### الكولوم

مقدار الشحنة الكهربائية المارة خلال مقطع من موصل في زمن قدره 1 ثانية عندما يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير.



\* تقاس شدة التيار الكهربى المار فى دائرة كهربية بجهاز الأميتر ويرمز له فى الدائرة الكهربائية بالرمز (A) ويوصل على التوالى فى الدائرة الكهربائية كما بالشكل :

### مثال

احسب شدة التيار الكهربى المار فى موصل والناتج عن مرور كمية من الشحنة الكهربائية مقدارها 15 C خلال مقطع من الموصل فى زمن قدره 3 s

الحل

$$Q = 15 \text{ C} \quad t = 3 \text{ s} \quad I = ?$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{15}{3} = 5 \text{ A}$$

### إرشاد

\* يمكن حساب عدد الإلكترونات (N) المارة عبر مقطع معين من موصل من العلاقة :  $N = \frac{Q}{e}$  حيث : (e) شحنة الإلكترون وتساوى  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

كم عدد الإلكترونات التي تمر عبر مقطع ما من موصل في زمن قدره 1 s إذا كانت شدة التيار المار في الموصل 20 A وشحنة الإلكترون  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ؟

الحل

$$t = 1 \text{ s}$$

$$I = 20 \text{ A}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

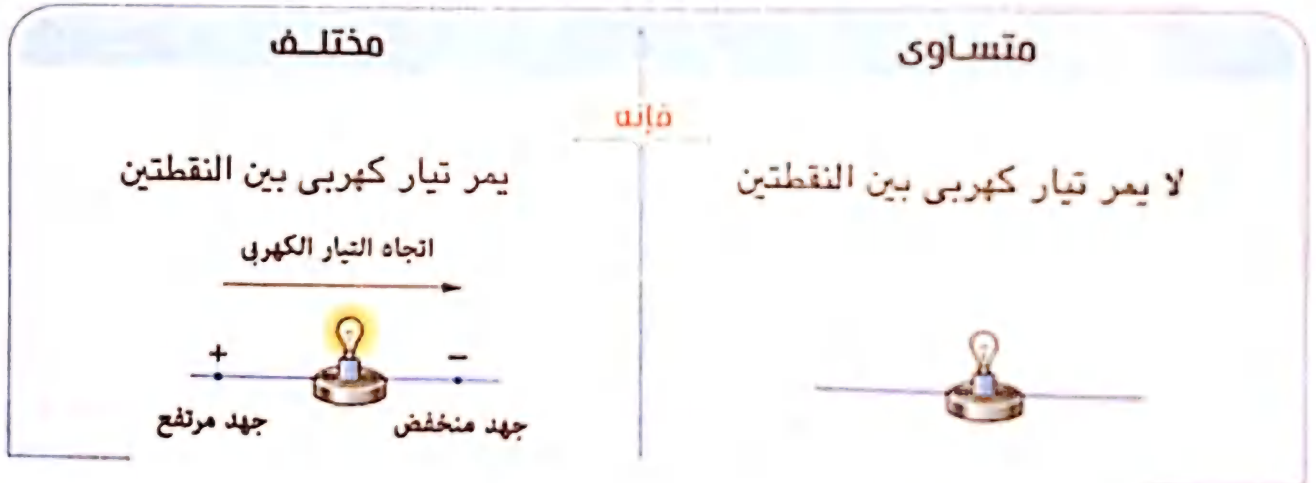
$$N = ?$$

$$I = \frac{Q}{t}, \quad Q = It = 20 \times 1 = 20 \text{ C}$$

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{20}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.25 \times 10^{20} \text{ electrons}$$

### ثانياً فرق الجهد الكهربى

عندما يكون جهد نقطتين فى موصل ،



فرق الجهد الكهربى بين نقطتين (V)

مقدار الشغل المبذول لنقل كمية من الشحنة الكهربائية مقدارها 1 كولوم بين النقطتين.

$$V = \frac{W}{Q}$$

• يتعين فرق الجهد الكهربى (V) من العلاقة :

حيث : (W) الشغل المبذول ويقاس بوحدة الجول (J)،

(Q) كمية الكهرباء وتقاس بوحدة الكولوم (C).

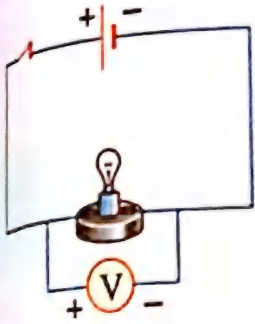
$$V = \frac{W}{Q} \Rightarrow V (\text{فولت}) = \frac{J (\text{جول})}{C (\text{كولوم})}$$

• يقاس فرق الجهد الكهربى بوحدة الفولت (V) وتكافئ جول/كولوم (J/C).

\* مما سبق يمكن تعريف الفولت كما يلي :

### الفولت

فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل مقداره 1 جول لنقل كمية من الشحنة الكهربائية مقدارها 1 كولوم بين هاتين النقطتين.



\* يقاس فرق الجهد الكهربى بجهاز الفولتميتر ويرمز له فى الدائرة الكهربائية بالرمز (V) ويوصل على التوازي بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما فى الدائرة الكهربائية كما بالشكل :

### مثال

إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الشحنة الكهربائية مقدارها 5 C بين طرفى موصل يساوى 20 J، احسب فرق الجهد بين طرفى الموصل.

الحل

$$Q = 5 \text{ C} \quad W = 20 \text{ J} \quad V = ?$$

$$V = \frac{W}{Q} = \frac{20}{5} = 4 \text{ V}$$

### ملاحظات

\* يطلق على الشغل المبذول لنقل شحنة كهربية مقدارها 1 C فى الدائرة الكهربائية كلها القوة الدافعة الكهربائية للمصدر الكهربى ( $V_B$ ) وتقاس بوحدة الفولت (V).

\* يقوم المصدر الكهربى ببذل شغل لتحريك الإلكترونات الحرة الموجودة بالفعل فى موصلات الدائرة الكهربائية.

### ثالثاً المقاومة الكهربائية

#### المقاومة الكهربائية (R)

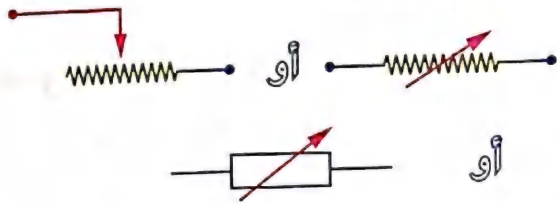
الممانعة التى يلقاها التيار الكهربى عند مروره فى موصل.

\* عند مرور تيار كهربى فى موصل فإن هذا التيار يواجه ممانعة أو مقاومة لمروده ناتجة عن تصادم الإلكترونات التيار الكهربى مع جزيئات الموصل ويطلق على هذه الممانعة المقاومة الكهربائية.

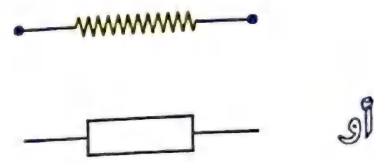
## أنواع المقاومات

### المقاومة المتغيرة (الريوستات)

يرمز لها في الدائرة الكهربائية بالرمز

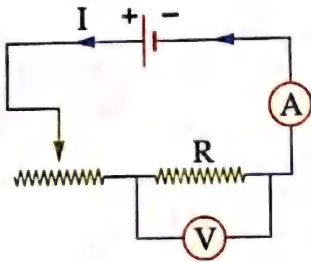


### المقاومة الثابتة



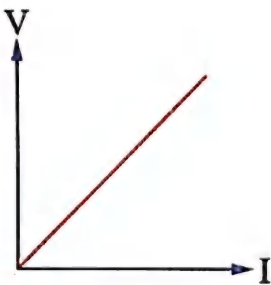
## قانون أوم

\* في الدائرة الموضحة بالشكل لإيجاد العلاقة بين فرق الجهد (V) بين طرفي المقاومة (R) وشدة التيار المار فيها (I) :



١ نقوم بتغيير فرق الجهد بين طرفي المقاومة (R) من خلال تغيير قيمة الجزء المأخوذ من الريوستات فنلاحظ تغير شدة التيار المار بالدائرة.

٢ نرسم العلاقة البيانية بين (V) على المحور الرأسى و (I) على المحور الأفقى، فنجد أنها تمثل بخط مستقيم يمر بنقطة الأصل ميله مقدار ثابت يعبر عن قيمة المقاومة الكهربائية (R).



$$\text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = R$$

أى أن : شدة التيار المار فى المقاومة تتناسب طردياً مع فرق الجهد الكهربى بين طرفيها عند ثبوت درجة الحرارة، وهو ما يعرف بقانون أوم

$$\therefore V = IR$$

## قانون أوم

عند ثبوت درجة حرارة موصل فإن شدة التيار المار فى الموصل تتناسب طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه.

\* من قانون أوم يمكن تعريف المقاومة الكهربائية كما يلى :

**المقاومة الكهربائية (R)**

نسبة فرق الجهد بين طرفى موصل إلى شدة التيار المار فيه.

\* تقاس المقاومة الكهربائية بوحدة الأوم ( $\Omega$ ) وتكافئ فولت/أمبير ( $V/A$ ).

### الأوم

مقاومة موصل يسمح بمرور تيار شدته 1 A عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه 1 V

### ملحوظة

\* يؤدي ارتفاع درجة حرارة الموصل (الفلز) إلى زيادة المقاومة الكهربائية،

**لأن** ارتفاع درجة حرارة الموصل يعمل على زيادة سعة اهتزاز جزيئاته وزيادة سرعة اهتزاز جزيئاته وبالتالي زيادة معدل تصادم إلكترونات التيار الكهربى مع جزيئات الفلز فتزداد الممانعة لسريان الإلكترونات خلاله فتزداد المقاومة الكهربائية للموصل (الفلز).

### مثال

موصل كهربى تمر به شحنة كهربية مقدارها 3.6 C خلال دقيقة، إذا كان فرق الجهد بين طرفيه 300 V، **احسب** مقاومته.

### الحل

$$Q = 3.6 \text{ C}$$

$$t = 60 \text{ s}$$

$$V = 300 \text{ V}$$

$$R = ?$$

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{3.6}{60} = 0.06 \text{ A}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{300}{0.06} = 5000 \Omega$$

### حساب المقاومة الكهربائية لموصل

\* من خلال الملاحظات والتجارب العملية اتضح أن المقاومة الكهربائية لموصل :

$$R \propto l$$

- تتناسب طردياً مع طول الموصل :

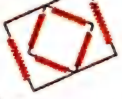
$$R \propto \frac{1}{A}$$

- تتناسب عكسياً مع مساحة مقطع الموصل :

$$\therefore R \propto \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \text{constant} \times \frac{l}{A}$$

$$\therefore R = \rho_e \frac{l}{A}$$



حيث :  $(\rho_e)$  المقاومة النوعية لمادة الموصل وهى كمية فيزيائية ثابتة للمادة الواحدة عند ثبوت درجة الحرارة.

وبالتالى يمكن استخدام الريوستات للتحكم فى شدة التيار المار فى الدائرة الكهربائية، لأن تغير موضع الزالق يغير طول سلك الريوستات الذى يمر به التيار فتتغير المقاومة المأخوذة من الريوستات حيث  $(R \propto l)$  فتتغير شدة التيار المار فى الدائرة حيث  $(I \propto \frac{1}{R})$ .

### ملحوظة

\* عند دراسة العلاقة بين كمية فيزيائية وأحد العوامل المؤثرة عليها يلزم تثبيت العوامل الأخرى.

## العوامل التى تتوقف عليها المقاومة الكهربائية لموصل

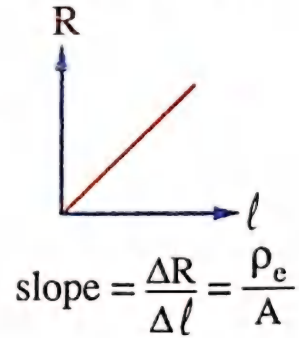
٢

المقاومة النوعية لمادة الموصل  
(نوع مادة الموصل ودرجة حرارته)

$$R = \frac{\rho_e l}{A}$$

١ طول الموصل :

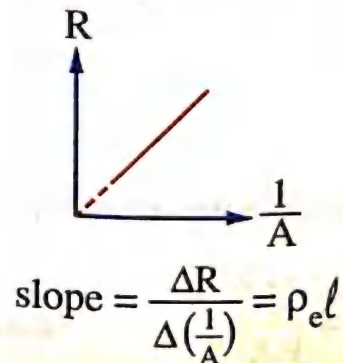
تتناسب المقاومة الكهربائية لموصل تناسباً طردياً مع طول الموصل.



٣

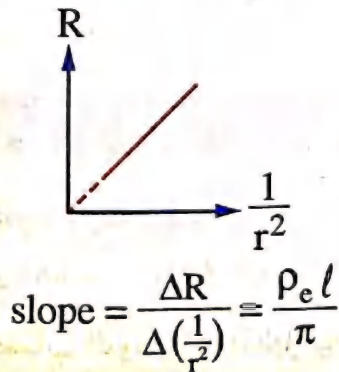
مساحة مقطع الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربائية لموصل تناسباً عكسياً مع مساحة مقطع الموصل.



نصف قطر الموصل :

تتناسب المقاومة الكهربائية لموصل تناسباً عكسياً مع مربع نصف قطر الموصل.



## المقاومة النوعية لمادة موصل

$$\rho_e = \frac{RA}{l}$$

- \* يمكن حساب المقاومة النوعية لمادة موصل من العلاقة :
- \* وبالتالي يمكن تعريف المقاومة النوعية لمادة موصل كما يلي :

المقاومة النوعية لمادة موصل ( $\rho_e$ )

تقدر بمقاومة موصل من تلك المادة طوله  $l$  m ومساحة مقطعه  $1 \text{ m}^2$  عند درجة حرارة معينة.

\* تقاس المقاومة النوعية بوحدة أوم.متر ( $\Omega.m$ ).

العوامل التي تتوقف عليها المقاومة النوعية

1 نوع مادة الموصل.

2 درجة حرارة الموصل.

## مثال

احسب نصف قطر سلك منتظم المقطع من النحاس طوله  $25 \text{ m}$  ومقاومته  $0.1 \Omega$  علماً بأن : المقاومة النوعية للنحاس  $(1.68 \times 10^{-8} \Omega.m)$ .

الحل

$$l = 25 \text{ m} \quad R = 0.1 \Omega \quad \rho_e = 1.68 \times 10^{-8} \Omega.m \quad r = ?$$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e l}{\pi r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{\rho_e l}{\pi R}} = \sqrt{\frac{1.68 \times 10^{-8} \times 25}{\frac{22}{7} \times 0.1}} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ m}$$

## التوصيلية الكهربائية لمادة موصل

- \* تعبر التوصيلية الكهربائية لمادة موصل عن مدى قدرة هذه المادة على توصيل التيار الكهربائي وتساوي مقلوب المقاومة النوعية لمادة الموصل.

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{l}{RA}$$

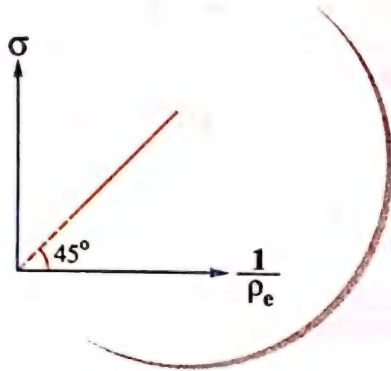
- \* يمكن حساب التوصيلية الكهربائية ( $\sigma$ ) لمادة موصل من العلاقة :



\* مما سبق يمكن تعريف التوصيلية الكهربائية كما يلي :  
التوصيلية الكهربائية ( $\sigma$ )

مقلوب المقاومة النوعية لمادة موصل.  
أو مقلوب مقاومة موصل طوله 1 m ومساحة مقطعه  $1 \text{ m}^2$  عند درجة حرارة معينة.

\* تقاس التوصيلية الكهربائية لمادة موصل بوحدة أوم<sup>-1</sup> متر<sup>-1</sup> ( $\Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ).



\* التمثيل البياني للعلاقة بين المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربائية عند رسمهما بنفس مقياس الرسم :

$$\text{slope} = \sigma \rho_e = 1$$

العوامل التي تتوقف عليها التوصيلية الكهربائية لمادة موصل

- ١ نوع مادة الموصل.
- ٢ درجة حرارة الموصل.

### ملاحظات

\* يعتبر كل من المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربائية للمادة خاصية فيزيائية مميزة لها،  
**لأن** كل منهما يتوقف فقط على نوع المادة عند درجة حرارة معينة.

\* عند ارتفاع درجة حرارة موصل :

(١) تزداد المقاومة النوعية لمادته.

(٢) تقل التوصيلية الكهربائية لمادته.

\* تصنع كابلات نقل التيار الكهربى من النحاس،

**لأن** المقاومة النوعية للنحاس صغيرة وبالتالي تكون مقاومة الكابلات المصنوعة منه صغيرة  
حيث ( $R \propto \rho_e$ ) وبالتالي يقل الفقد فى الطاقة الكهربائية.

**مثال ١** سلك طوله 50 m ونصف قطره 0.5 cm ومقاومته الكهربائية  $2 \Omega$ ، أوجد :

- (١) المقاومة النوعية لمادة السلك.  
(ب) التوصيلية الكهربائية لمادة السلك.

**الحل**

$$l = 50 \text{ m} \quad r = 0.5 \text{ cm} \quad R = 2 \Omega \quad \rho_e = ? \quad \sigma = ?$$

$$\rho_e = \frac{RA}{l} = \frac{R(\pi r^2)}{l} = \frac{2 \times \frac{22}{7} \times (0.5 \times 10^{-2})^2}{50} = 3.14 \times 10^{-6} \Omega.m \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{3.14 \times 10^{-6}} = 3.18 \times 10^5 \Omega^{-1}.m^{-1} \quad (ب)$$

**مثال ٢**

سلك طوله 20 m ومساحة مقطعه  $0.2 \text{ mm}^2$  فإذا كان فرق الجهد بين طرفيه 10 V وشدة التيار المار فيه 0.5 A، احسب :

- (١) المقاومة النوعية لمادة السلك.  
(ب) التوصيلية الكهربائية لمادة السلك.

**الحل**

$$l = 20 \text{ m} \quad A = 0.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad V = 10 \text{ V}$$

$$I = 0.5 \text{ A} \quad \rho_e = ? \quad \sigma = ?$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{10}{0.5} = 20 \Omega \quad (1)$$

$$\rho_e = \frac{RA}{l} = \frac{20 \times 0.2 \times 10^{-6}}{20} = 2 \times 10^{-7} \Omega.m$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} = \frac{1}{2 \times 10^{-7}} = 5 \times 10^6 \Omega^{-1}.m^{-1} \quad (ب)$$



## إرشاد

\* إذا تم لف السلك على شكل ملف دائري عدد لفاته  $N$  ونصف قطره  $r_{(ملف)}$  :

$$l_{(سلك)} = 2 \pi r_{(ملف)} N$$

## مثال

سلك مساحة مقطعه  $10^{-6} \text{ m}^2$  ومقاومة مادته النوعية  $10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$  ملفوف على شكل ملف دائري نصف قطره  $\frac{7}{22} \text{ m}$  وعدد لفاته 100 لفة، وصل طرفا السلك بمصدر كهربى فكان فرق الجهد بين طرفيه  $50 \text{ V}$ ، **احسب** شدة التيار المار بالسلك.

## الحل

$$A = 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\rho_e = 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$$

$$r_{(ملف)} = \frac{7}{22} \text{ m}$$

$$N = 100$$

$$V = 50 \text{ V}$$

$$I = ?$$

$$l_{(سلك)} = 2 \pi r_{(ملف)} N$$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{7}{22} \times 100 = 200 \text{ m}$$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{10^{-7} \times 200}{10^{-6}} = 20 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{50}{20} = \mathbf{2.5 \text{ A}}$$

## إرشاد

\* لتعيين قيمة المقاومة  $R$  بدلالة الكتلة والحجم وكثافة المادة :

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e l^2}{V_{ol}} = \frac{\rho_e l^2 \rho}{m}$$

$$(\rho = \frac{m}{V_{ol}}, V_{ol} = A l \text{ : حيث})$$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e V_{ol}}{A^2} = \frac{\rho_e m}{\rho A^2}$$

مثال

سلك من النحاس طوله 50 cm وكثافة مادته  $8600 \text{ kg/m}^3$  يمر به تيار كهربى فكانت مقاومته  $1.5 \Omega$ ، احسب كتلة السلك.

(علمًا بأن : المقاومة النوعية للنحاس  $= 1.79 \times 10^{-8} \Omega.m$ )

الحل

$$l = 50 \text{ cm}$$

$$\rho = 8600 \text{ kg/m}^3$$

$$R = 1.5 \Omega$$

$$\rho_e = 1.79 \times 10^{-8} \Omega.m$$

$$m = ?$$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} = \frac{\rho_e l^2}{V_{ol}} = \frac{\rho_e l^2 \rho}{m}$$

$$m = \frac{\rho_e l^2 \rho}{R} = \frac{1.79 \times 10^{-8} \times (50 \times 10^{-2})^2 \times 8600}{1.5}$$

$$= 2.57 \times 10^{-5} \text{ kg}$$

إرشاد

\* للمقارنة بين مقاومتي موصلين :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{(\rho_e)_1 l_1 A_2}{(\rho_e)_2 l_2 A_1} = \frac{(\rho_e)_1 l_1 r_2^2}{(\rho_e)_2 l_2 r_1^2} = \frac{(\rho_e)_1 \rho_1 l_1^2 m_2}{(\rho_e)_2 \rho_2 l_2^2 m_1}$$



### مثال ١

سلك طوله 30 m ومساحة مقطعه  $0.5 \text{ cm}^2$  ومقاومته  $20 \Omega$ ،  
كم تكون مقاومة سلك آخر من نفس المادة طوله 10 m ومساحة مقطعه  $0.3 \text{ cm}^2$  ؟

#### الحل

$$l_1 = 30 \text{ m} \quad A_1 = 0.5 \text{ cm}^2 \quad R_1 = 20 \Omega$$

$$l_2 = 10 \text{ m} \quad A_2 = 0.3 \text{ cm}^2 \quad R_2 = ?$$

$$\therefore R = \frac{\rho_e l}{A}$$

$\therefore$  السلك من نفس المادة.

$$\therefore (\rho_e)_1 = (\rho_e)_2, \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 A_2}{l_2 A_1}$$

$$\frac{20}{R_2} = \frac{30 \times 0.3}{10 \times 0.5}$$

$$R_2 = 11.11 \Omega$$

### مثال ٢

سلكان من النحاس طول السلك الأول 10 cm وكتلته 0.1 kg وطول السلك الثاني 40 cm وكتلته 0.2 kg، احسب نسبة مقاومة السلك الأول إلى مقاومة السلك الثاني.

#### الحل

$$l_1 = 10 \text{ cm} \quad m_1 = 0.1 \text{ kg} \quad \frac{R_1}{R_2} = ?$$

$$l_2 = 40 \text{ cm} \quad m_2 = 0.2 \text{ kg}$$

$$\therefore R = \frac{\rho_e l^2 \rho}{m}$$

$\therefore$  السلكان من نفس المادة.

$$\therefore (\rho_e)_1 = (\rho_e)_2, \quad \rho_1 = \rho_2$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1^2 m_2}{l_2^2 m_1} = \frac{10^2 \times 0.2}{40^2 \times 0.1} = \frac{1}{8}$$

### مثال ٣

سلكان لهما نفس الطول أحدهما من النحاس والآخر من الحديد فرق الجهد بين طرفيهما متساوى ويمر بكل منهما نفس التيار، **احسب** النسبة بين نصفى قطريهما  $\left(\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}}\right)$  علماً بأن :  $(\rho_e)_{Cu} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega.m$  ،  $(\rho_e)_{Fe} = 9.7 \times 10^{-8} \Omega.m$ .

### الحل

$$l_{Cu} = l_{Fe}$$

$$V_{Cu} = V_{Fe}$$

$$I_{Cu} = I_{Fe}$$

$$(\rho_e)_{Cu} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega.m$$

$$(\rho_e)_{Fe} = 9.7 \times 10^{-8} \Omega.m$$

$$\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}} = ?$$

$$\therefore R = \frac{V}{I}$$

$$\therefore R_{Cu} = R_{Fe}$$

$$\left(\frac{\rho_e l}{\pi r^2}\right)_{Cu} = \left(\frac{\rho_e l}{\pi r^2}\right)_{Fe}$$

$$\frac{(\rho_e)_{Cu}}{r_{Cu}^2} = \frac{(\rho_e)_{Fe}}{r_{Fe}^2}$$

$$\frac{r_{Cu}^2}{r_{Fe}^2} = \frac{(\rho_e)_{Cu}}{(\rho_e)_{Fe}} = \frac{1.7 \times 10^{-8}}{9.7 \times 10^{-8}} = \frac{17}{97}$$

$$\frac{r_{Cu}}{r_{Fe}} = 0.42$$

### إرشاد

\* إذا أعيد تشكيل سلك بحيث يزداد طوله وتقل مساحة مقطعه فإن :

$$(V_{ol})_1 = (V_{ol})_2 \quad , \quad A_1 l_1 = A_2 l_2$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

∴ المقاومة النوعية ثابتة.

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1 A_2}{l_2 A_1} = \frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{A_2^2}{A_1^2} = \frac{r_2^4}{r_1^4}$$



## مثال

سحب سلك مقاومته  $5 \Omega$  فزاد طوله للضعف، احسب مقاومة السلك بعد السحب.

الحل

$$l_2 = 2 l_1 \quad R_1 = 5 \Omega \quad R_2 = ?$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1^2}{l_2^2}$$

$$\frac{5}{R_2} = \frac{l_1^2}{(2 l_1)^2} = \frac{l_1^2}{4 l_1^2} = \frac{1}{4}$$

$$\therefore R_2 = 20 \Omega$$

## إرشاد

\* للمقارنة بين المقاومة النوعية لمادتي موصلين مختلفين :

$$\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = \frac{R_1 A_1 l_2}{R_2 A_2 l_1} = \frac{R_1 r_1^2 l_2}{R_2 r_2^2 l_1}$$

## مثال

سلكان من مادتين مختلفتين طول الأول ثلاث أمثال طول الثاني ونصف قطر الأول ثلث نصف قطر الثاني ومقاومة الأول تساوى مقاومة الثاني، احسب النسبة بين المقاومة النوعية للسلكين.

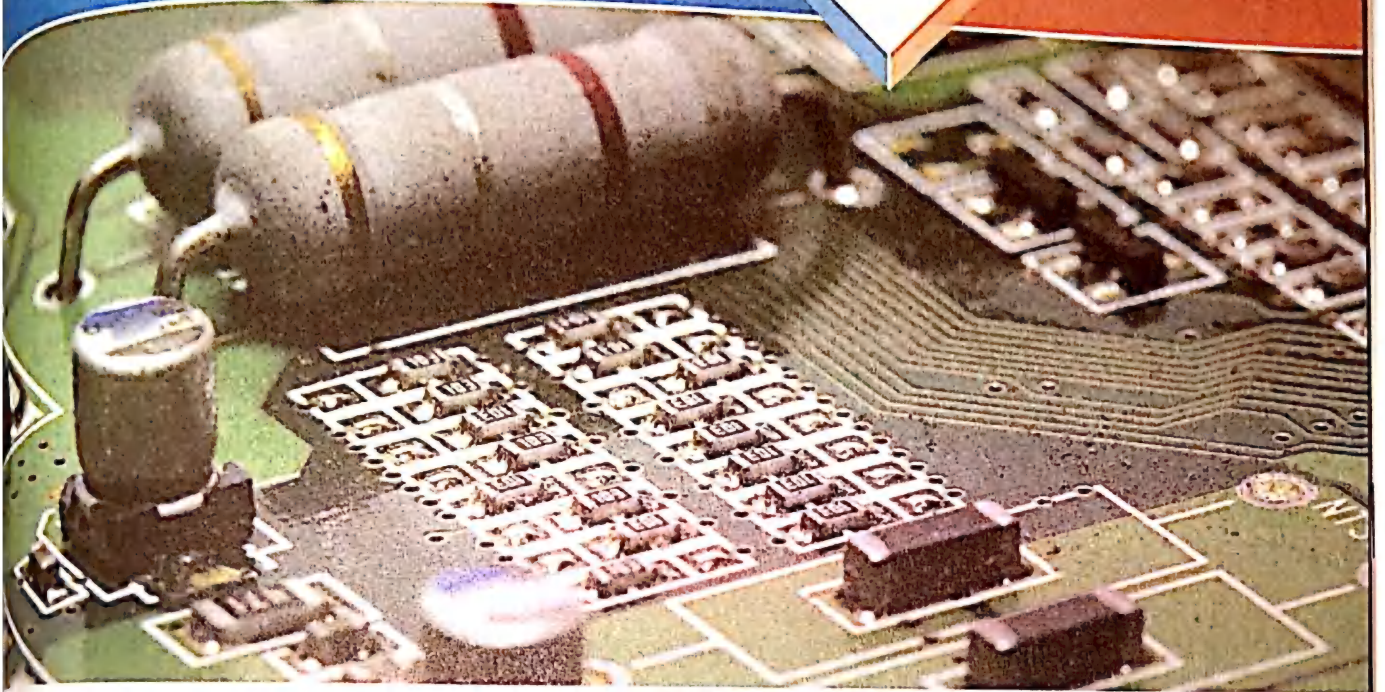
الحل

$$l_1 = 3 l_2 \quad r_1 = \frac{1}{3} r_2 \quad R_1 = R_2 \quad \frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = ?$$

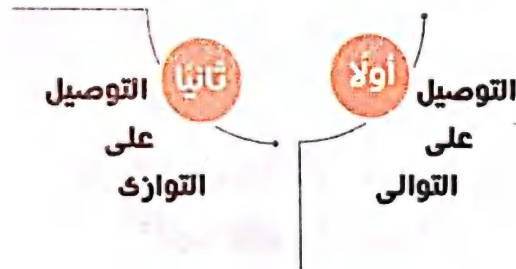
$$\rho_e = \frac{RA}{l} = \frac{R\pi r^2}{l}$$

$$\frac{(\rho_e)_1}{(\rho_e)_2} = \frac{r_1^2 l_2}{r_2^2 l_1} = \frac{(\frac{1}{3} r_2)^2 \times l_2}{r_2^2 \times 3 l_2} = \frac{1}{27}$$





\* يمكن توصيل عدة مقاومات في دائرة كهربية بطريقتين هما :

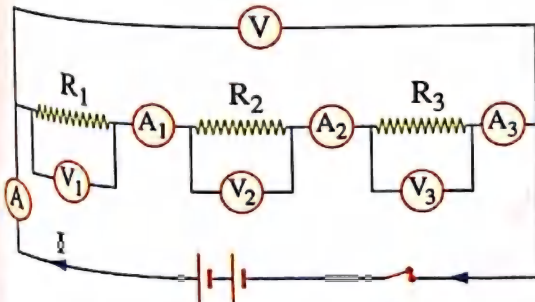


### أولاً توصيل المقاومات على التوالي

الفرض منه :

الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة من المقاومات الصغيرة حيث تكون قيمة المقاومة المكافئة للمجموعة أكبر من قيمة أكبر مقاومة في المجموعة.

طريقة التوصيل :



توصل المقاومات بحيث تكون مسار واحد متصل أمام التيار الكهربى المار فى دائرة كهربية كما هو موضح بالشكل :

شدة التيار الكهربى :

عند قياس شدة التيار الكهربى المار فى كل

مقاومة نجد أنها متساوية وتساوى شدة التيار المار فى الدائرة :  $I = I_1 = I_2 = I_3$

### فرق الجهد الكهربى :

عند قياس فرق الجهد الكلى بين طرفى المجموعة نجد أنه يساوى مجموع فروق الجهد بين طرفى المقاومات بالدائرة :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

### المقاومة المكافئة ( $\bar{R}$ ) :

من قانون أوم :

$$\therefore V = IR$$

$$\therefore V_1 = IR_1, \quad V_2 = IR_2, \quad V_3 = IR_3$$

$$\therefore V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\therefore IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$\therefore \bar{R} = R_1 + R_2 + R_3$$

أي أنه : المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات.

\* إذا كانت المقاومات المتصلة على التوالى متساوية وقيمة كل منها  $R$  وعددها  $N$  فإن :  $\bar{R} = NR$

\* مما سبق نستنتج أن : مقاومة الموصل تزداد بزيادة طوله لأن زيادة طول الموصل تعتبر بمثابة إضافة مقاومات على التوالى فتزداد مقاومته.

### مثال

ثلاث مقاومات  $25 \Omega$ ,  $70 \Omega$ ,  $85 \Omega$  متصلة على التوالى مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها  $45 \text{ V}$ ، احسب :

(1) شدة التيار الكهربى المار فى الثلاث مقاومات.

(ب) فرق الجهد على كل مقاومة.

الحل

$$R_1 = 25 \Omega \quad R_2 = 70 \Omega \quad R_3 = 85 \Omega \quad V_B = 45 \text{ V}$$

$$I = ? \quad V_1 = ? \quad V_2 = ? \quad V_3 = ?$$

$$\bar{R} = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180 \Omega \quad (1)$$

$\therefore$  الثلاث مقاومات متصلة على التوالى.

$\therefore$  شدة التيار المار فى كل منها = شدة التيار الكلى المار فى الدائرة

$$I = \frac{V_B}{\bar{R}} = \frac{45}{180} = 0.25 \text{ A}$$

$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25 \text{ V} \quad (ب)$$

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5 \text{ V}, \quad V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25 \text{ V}$$

## ثانياً توصيل المقاومات على التوازي

**الفرض منه :**

الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة حيث تكون قيمة المقاومة المكافئة للمجموعة أقل من قيمة أصغر مقاومة في المجموعة.

**طريقة التوصيل :**

توصل المقاومات في دائرة كهربية بحيث يكون لجميع المقاومات نفس البداية ونفس النهاية كما هو موضح بالشكل :

**فرق الجهد الكهربى :**

عند قياس فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة نجد أنه

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$

متساوى ويساوى فرق الجهد بين طرفى مجموعة المقاومات :

**شدة التيار الكهربى :**

عند قياس شدة التيار الكلى المار في الدائرة نجد أنها تساوى مجموع شدة التيارات المارة

$$I_{\text{الكلى}} = I_1 + I_2 + I_3$$

في جميع المقاومات :

ويلاحظ أن التيار الكهربى يتجزأ في المقاومات إلى قيم تتناسب عكسياً مع قيمة المقاومة أى يمر الجزء الأكبر من التيار في المقاومة الأصغر.

**المقاومة المكافئة (R) :**

من قانون أوم :

$$\therefore I = \frac{V}{R}$$

$$\therefore I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$\therefore I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\therefore \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

**أى أنه :** مقلوب المقاومة المكافئة لمجموعة مقاومات متصلة على التوازي تساوى مجموع مقلوب المقاومات.

\* إذا كان هناك مقاومتان فقط متصلتين على التوازي، فإن :

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

\* إذا كانت المقاومات المتصلة على التوازي متساوية وقيمة كل منها R وعددها N، فإن :

$$\frac{1}{R} = \frac{N}{R}$$

$$\therefore R = \frac{R}{N}$$



## ملاحظات



\* تقل مقاومة موصل بزيادة مساحة مقطعه،  
**حيث إن** زيادة مساحة مقطع الموصل تعتبر بمثابة إضافة مقاومات على التوازي فتقل مقاومته.

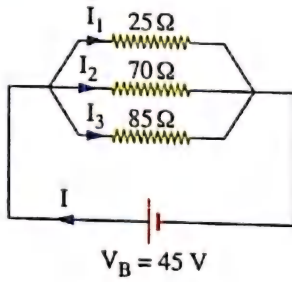
\* توصل الأجهزة المنزلية على التوازي،

**حتى** يعمل كل جهاز على فرق جهد المصدر الكهربى وبالتالي يمكن تشغيل كل جهاز بمفرده فإذا فصل أو تلف أى جهاز لا يؤثر على الأجهزة الأخرى، كما أن المقاومة المكافئة لها جميعاً تصبح صغيرة جداً فلا تضعف شدة التيار.

\* فى الدوائر الكهربائية التى تحتوى على عدة مقاومات متصلة على التوازي تستخدم أسلاك سميكة عند طرفى المصدر الكهربى، بينما يمكن استخدام أسلاك أقل سُمكاً عند طرفى كل مقاومة،

**لأن** شدة التيار تكون أكبر ما يمكن عند مدخل ومخرج التيار فتستخدم أسلاك سميكة حتى تكون مقاومتها صغيرة فلا تسخن ولا تنصهر، بينما يتجزأ التيار فى كل مقاومة على حدة فيمكن استخدام أسلاك أقل سُمكاً عند طرفى كل مقاومة.

## مثال ١



من الدائرة المقابلة، أوجد :

(أ) المقاومة الكلية.

(ب) شدة التيار فى كل مقاومة.

(ج) شدة التيار الكلى.

الحل



$$R_1 = 25 \Omega$$

$$R_2 = 70 \Omega$$

$$R_3 = 85 \Omega$$

$$V_B = 45 V$$

$$R = ?$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

$$I_3 = ?$$

$$I = ?$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

(أ)

$$R = 15.14 \Omega$$

$$I_1 = \frac{V_B}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8 A$$

(ب)

$$I_2 = \frac{V_B}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.64 A$$

$$I_3 = \frac{V_B}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.53 A$$

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{15.14} = 2.97 \text{ A}$$

(ج)

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 1.8 + 0.64 + 0.53 = 2.97 \text{ A}$$

حلا آخر

## مثال ٢

ثلاث مقاومات 20 ، 40 ، 60 أوم متصلة بمصدر تيار كهربى فإذا كان فرق الجهد بين طرفى كل مقاومة هو 50 ، 20 ، 30 فولت على الترتيب، **بين** بالرسم كيفية توصيل هذه المقاومات، ثم احسب المقاومة الكلية للدائرة.

الحل

$$R_1 = 20 \Omega \quad R_2 = 40 \Omega \quad R_3 = 60 \Omega \quad V_1 = 50 \text{ V} \quad V_2 = 20 \text{ V}$$

$$V_3 = 30 \text{ V} \quad R = ?$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{50}{20} = 2.5 \text{ A}$$

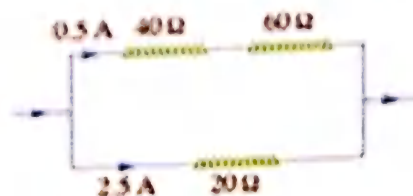
$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{20}{40} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{30}{60} = 0.5 \text{ A}$$

$$\therefore I_2 = I_3$$

$$\therefore V_1 = V_2 + V_3$$

$\therefore$  المقاومتان 60  $\Omega$  ، 40  $\Omega$  متصلتان على التوالى والمقاومة 20  $\Omega$  متصلة معهما على التوازي، وتكون الدائرة كالآتى :

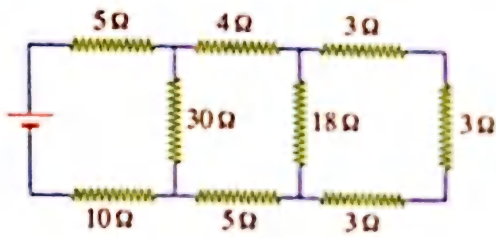


$$R = \frac{(40 + 60) \times 20}{40 + 60 + 20} = 16.67 \Omega$$

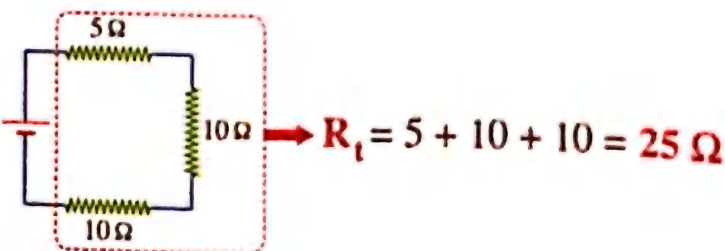
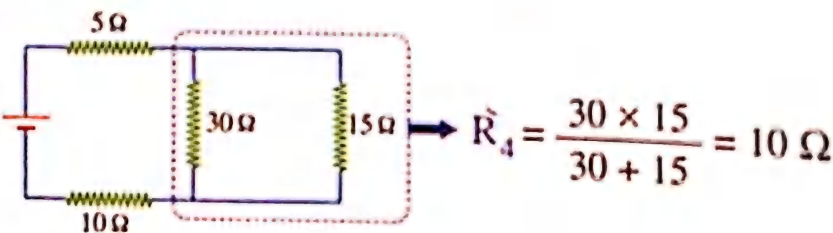
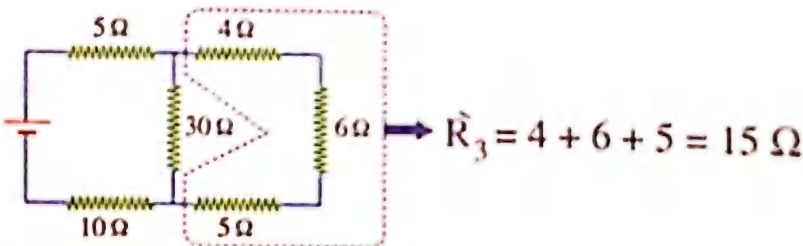
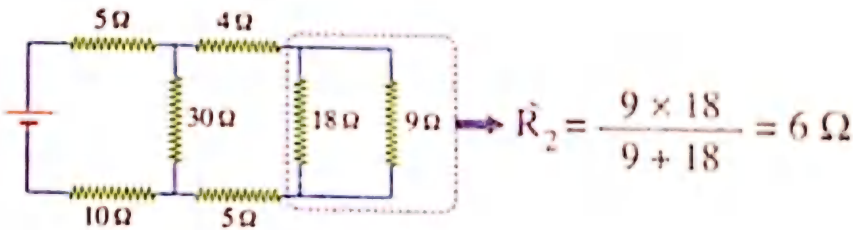
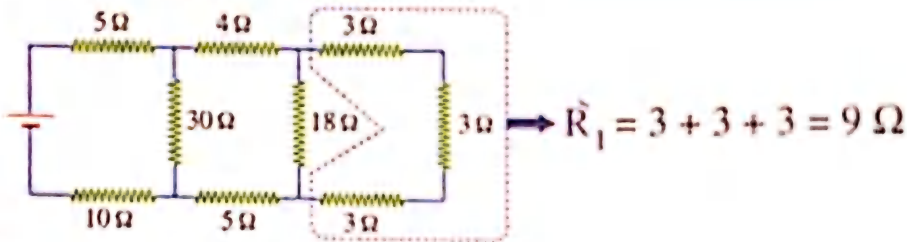


مثال ٢

أوجد قيمة المقاومة المكافئة للدائرة الموضحة.



الحل



## إرشاد

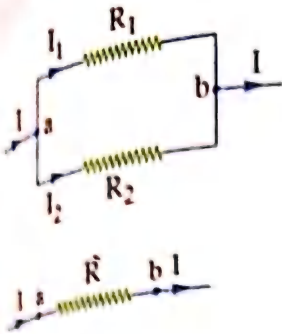
\* لحساب شدة تيار الفرع :

$$\hat{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_1 = V_2 = V_{ab}$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = I \hat{R}$$

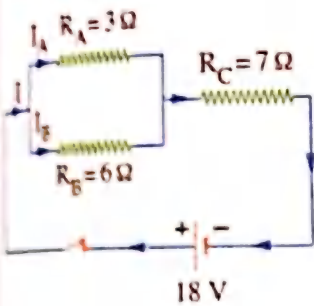
$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} , \quad I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$$



## مثال ١

من الشكل المقابل، احسب :

(أ) المقاومة الكلية. (ب) شدة التيار المار في الدائرة.

(ج) شدة التيار المار في كل من المقاومتين  $R_A$  ،  $R_B$ 

الحل

$$R_A = 3 \Omega$$

$$R_B = 6 \Omega$$

$$R_C = 7 \Omega$$

$$V_B = 18 V$$

$$\hat{R} = ?$$

$$I = ?$$

$$I_A = ?$$

$$I_B = ?$$

$$\hat{R} = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} + R_C = \frac{3 \times 6}{3 + 6} + 7 = 2 + 7 = 9 \Omega \quad (أ)$$

$$I = \frac{V_B}{\hat{R}} = \frac{18}{9} = 2 A \quad (ب)$$

$$R_{AB} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \Omega \quad (ج)$$

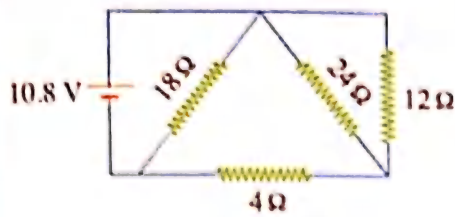
$$V_{AB} = I R_{AB} = 2 \times 2 = 4 V$$

$$I_A = \frac{V_{AB}}{R_A} = \frac{4}{3} = 1.33 A$$

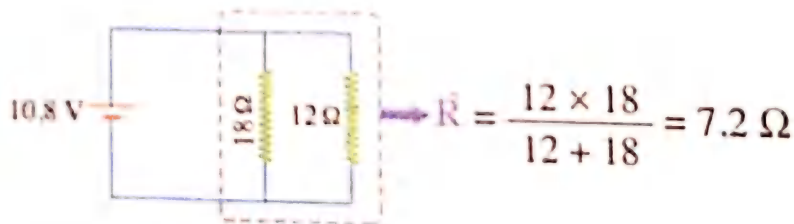
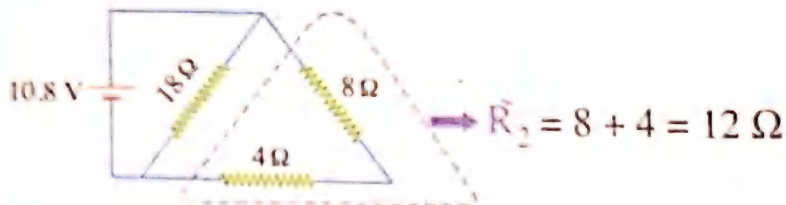
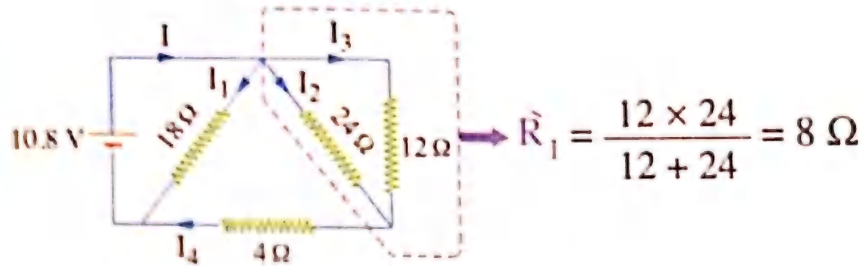
$$I_B = \frac{V_{AB}}{R_B} = \frac{4}{6} = 0.67 A$$

مثال ٢

في الدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل المقابل،  
احسب شدة التيار المار في كل مقاومة.



الحل



$$I = \frac{V_B}{\vec{R}} = \frac{10.8}{7.2} = 1.5 \text{ A}$$

\* شدة التيار المار في المقاومة 18 Ω :

$$I_1 = \frac{V_B}{18} = \frac{10.8}{18} = 0.6 \text{ A}$$

\* شدة التيار المار في المقاومة 4 Ω :

$$I = I_1 + I_4$$

$$1.5 = 0.6 + I_4$$

$$I_4 = 0.9 \text{ A}$$

\* فرق الجهد بين طرفي كل من المقاومتين  $12\ \Omega$ ،  $24\ \Omega$  ( $V_3$ ):

$$V_3 = I_4 R_1 = 0.9 \times 8 = 7.2\text{ V}$$

\* شدة التيار المار في المقاومة  $24\ \Omega$ :

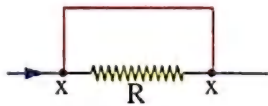
$$I_2 = \frac{V_3}{24} = \frac{7.2}{24} = 0.3\text{ A}$$

\* شدة التيار المار في المقاومة  $12\ \Omega$ :

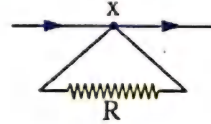
$$I_3 = \frac{V_3}{12} = \frac{7.2}{12} = 0.6\text{ A}$$

### إرشاد

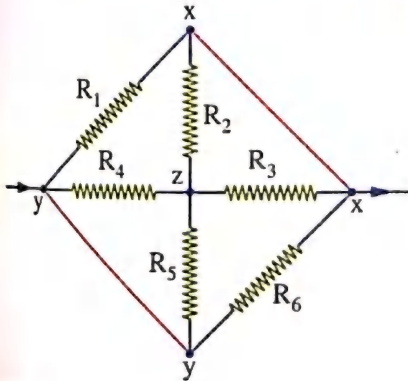
\* في حالة وجود مقاومة طرفها متصلان بسلك توصيل تهمل هذه المقاومة عند حساب المقاومة المكافئة لعدم وجود فرق جهد بين طرفيها.



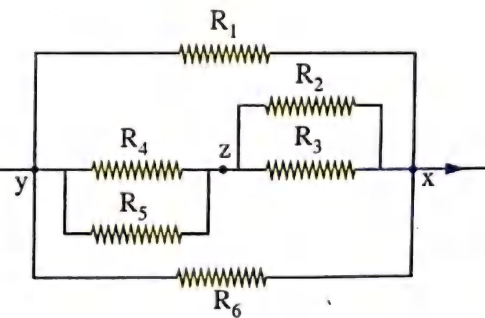
شكل مبسط



\* في حالة وجود سلك توصيل (عديم المقاومة) يتم اعتبار طرفي السلك نقطة واحدة.



شكل مبسط



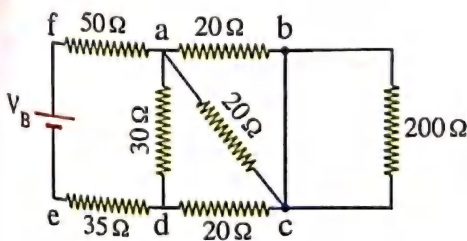
### مثال ١

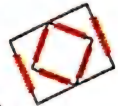
من الدائرة المقابلة، احسب:

(١) المقاومة المكافئة.

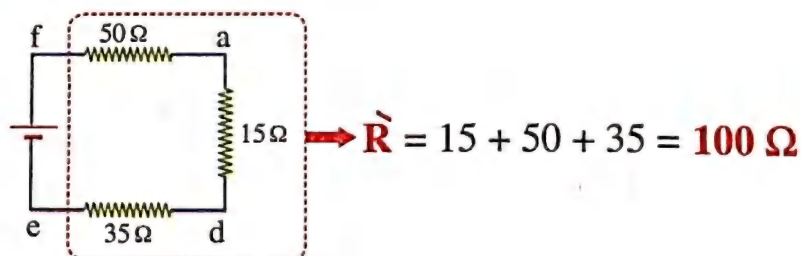
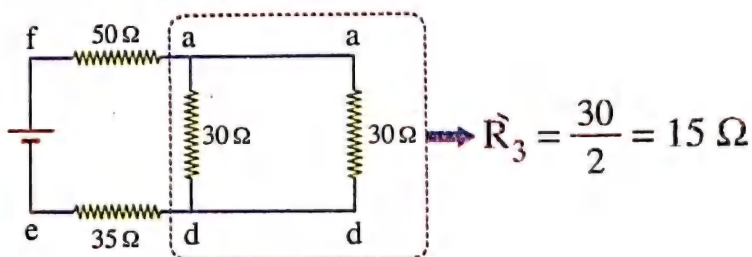
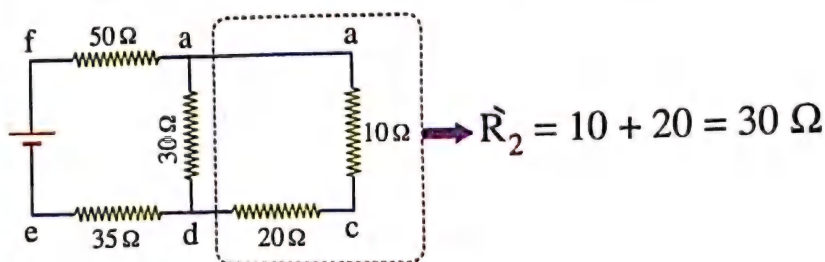
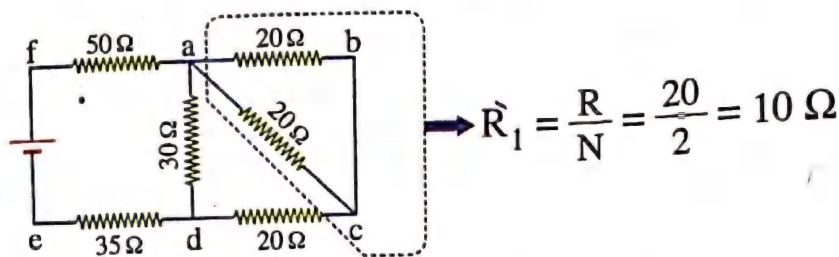
(ب) شدة التيار الكلي المار في الدائرة

علمًا بأن  $V_B = 100\text{ V}$





(١) لا يمر تيار فى المقاومة  $200 \Omega$  بينما يمر فى السلك bc لأن مقاومته مهمة وبذلك تصبح المقاومة  $200 \Omega$  ملغية ويكون شكل الدائرة كالتالى :



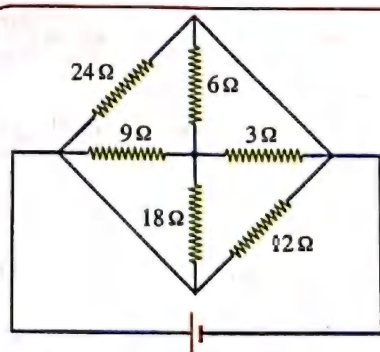
$$I = \frac{V_B}{\vec{R}} = \frac{100}{100} = 1 A$$

(ب)

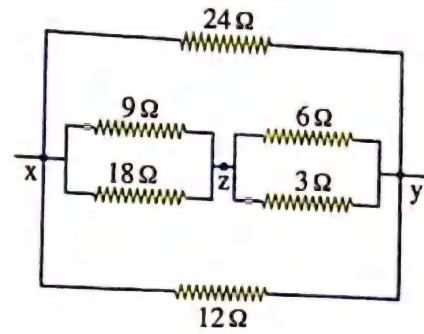
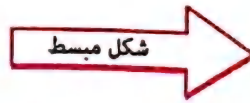
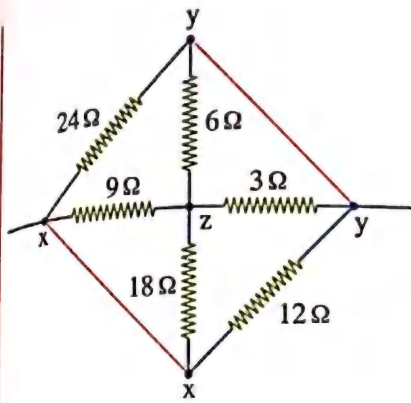
## مثال ٢

من الدائرة الموضحة،

احسب قيمة المقاومة المكافئة.



## الحل



\* المقاومتان  $9\Omega$  ،  $18\Omega$  متصلتان على التوازي :

$$\bar{R}_1 = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6\Omega$$

\* المقاومتان  $6\Omega$  ،  $3\Omega$  متصلتان على التوازي :

$$\bar{R}_2 = \frac{6 \times 3}{6 + 3} = 2\Omega$$

\* المقاومتان  $\bar{R}_1$  ،  $\bar{R}_2$  متصلتان على التوالي :

$$\bar{R}_3 = 6 + 2 = 8\Omega$$

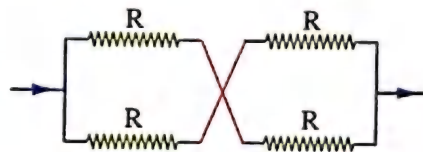
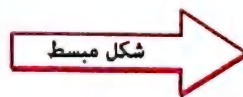
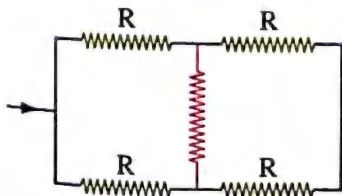
\* المقاومات  $24\Omega$  ،  $12\Omega$  ،  $\bar{R}_3$  متصلة على التوازي :

$$\frac{1}{\bar{R}} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} + \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$$

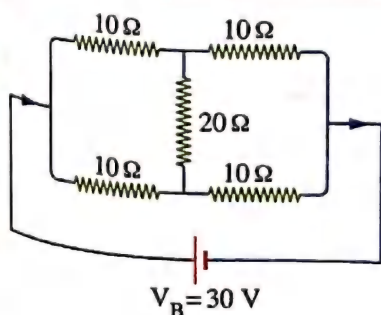
$$\bar{R} = 4\Omega$$

## إرشاد

\* في حالة تساوى الجهد بين طرفى مقاومة ما تهمل هذه المقاومة عند حساب المقاومة المكافئة :



## مثال



$$V_B = 30\text{ V}$$

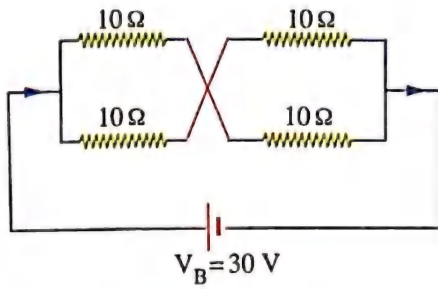
من الدائرة المقابلة، احسب :

(أ) المقاومة المكافئة.

(ب) شدة التيار المار فى الدائرة.



الحل



(1) لا يمر تيار فى المقاومة  $20 \Omega$  لتساوى الجهد بين

طرفيها ويصبح شكل الدائرة كما هو موضح :

$$\bar{R} = \frac{10}{2} + \frac{10}{2} = 10 \Omega$$

$$I = \frac{V_B}{\bar{R}} = \frac{30}{10} = 3 A \quad (ب)$$

\* مما سبق يمكن المقارنة بين توصيل المقاومات على التوالى وتوصيلها على التوازي كالتالى :

توصيل المقاومات على التوازي	توصيل المقاومات على التوالى	طريقة التوصيل فى الدائرة
الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة مقاومات كبيرة	الحصول على مقاومة كبيرة من مجموعة مقاومات صغيرة	الفرض منه
التيار الكلى يساوى مجموع التيارات فى المقاومات ( $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$ )	متساوية فى جميع المقاومات (I) ( $I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$ )	شدة التيار الكهربى
متساوى بين طرفى جميع المقاومات (V) ( $V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$ )	فرق الجهد الكلى يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات ( $V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$ )	فرق الجهد
* لعدة مقاومات : $\frac{1}{\bar{R}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ * لعدة مقاومات متساوية عددها N وقيمة كل منها R : $\bar{R} = \frac{R}{N}$ * لمقاومتين : $\bar{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	* لعدة مقاومات : $\bar{R} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ * لعدة مقاومات متساوية عددها N وقيمة كل منها R : $\bar{R} = NR$	القانون المستخدم لتعيين المقاومة المكافئة ( $\bar{R}$ )

## الطاقة الكهربائية والقدرة الكهربائية

### القدرة الكهربائية ( $P_w$ )

الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال ثانية واحدة

$$P_w = \frac{W}{t} = \frac{VQ}{t}$$

$$= VI$$

$$= I^2 R$$

$$= \frac{V^2}{R}$$

الوات وتكافئ جول/ثانية

### الطاقة الكهربائية ( $W$ )

الشغل المبذول لنقل الشحنات الكهربائية بين نقطتين بينهما فرق في الجهد

$$W = P_w t = VQ$$

$$= VIt$$

$$= I^2 R t$$

$$= \frac{V^2 t}{R}$$

الجول وتكافئ فولت . كولوم

### العلاقة الرياضية

### وحدة القياس

مما سبق نستنتج أن :

القدرة الكهربائية المستنفذة في موصل تزداد بزيادة فرق الجهد بين طرفي الموصل

**لأن** القدرة الكهربائية المستنفذة في موصل تتناسب طردياً مع مربع فرق الجهد بين طرفي الموصل تبعاً للعلاقة ( $P_w = \frac{V^2}{R}$ ).

القدرة الكهربائية المستنفذة من مصدر كهربى تزداد إذا وصلت مقاومة على التوازي مع مقاومة أخرى في دائرة المصدر،

**لأن** توصيل المقاومات على التوازي يقلل من قيمة المقاومة الكلية فتزداد القدرة المستنفذة تبعاً للعلاقة ( $P_w = \frac{V^2}{R}$ ) حيث فرق الجهد ثابت فتتناسب القدرة الكهربائية عكسياً مع المقاومة.

### ملحوظة

\* إذا وصلت مجموعة مصابيح على التوازي تحت فرق جهد ثابت فعند إزالة أحد هذه المصابيح يظل فرق الجهد بين طرفي كل مصباح ثابت وبالتالي تظل القدرة المستنفذة في كل مصباح ثابتة تبعاً للعلاقة ( $P_w = \frac{V^2}{R}$ ) وبالتالي تظل إضاءة المصباح الواحد ثابتة ولكن تقل الإضاءة الكلية للمصابيح.

إذا كان فرق الجهد بين طرفي مصباح كهربى  $75 \text{ V}$  وشدة التيار المار خلاله  $1.5 \text{ A}$ ، احسب القدرة الكهربائية للمصباح والطاقة الكهربائية المستهلكة عند تشغيله لمدة  $10 \text{ min}$

الحل

$$V = 75 \text{ V} \quad I = 1.5 \text{ A} \quad t = 10 \text{ min} \quad P_w = ? \quad W = ?$$

$$P_w = VI = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ W}$$

$$W = P_w t = 112.5 \times 10 \times 60 = 6.75 \times 10^4 \text{ J}$$

### إرشاد

• للمقارنة بين القدرة المستهلكة فى مقاومتين إذا كان :  
- شدة التيار فيهما متساوية

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{I^2 R_1}{I^2 R_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

- فرق الجهد بين طرفيهما متساوى :

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{V^2}{R_1} \times \frac{R_2}{V^2} = \frac{R_2}{R_1}$$

مصباحان مقاومتهما  $R_1$ ،  $R_2$ ، فإذا وصلتا معاً فى دائرة كهربية بها مصدر كهربى وكان  $R_2 < R_1$ ، أيهما يصبح أكثر إضاءة إذا كان المصباحان متصلين :  
(1) على التوالي، (ب) على التوازي.

الحل

$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

(1)

$$\therefore R_1 > R_2$$

$$\therefore (P_w)_1 > (P_w)_2$$

∴ إضاءة المصباح الأول < إضاءة المصباح الثانى.

(ب)

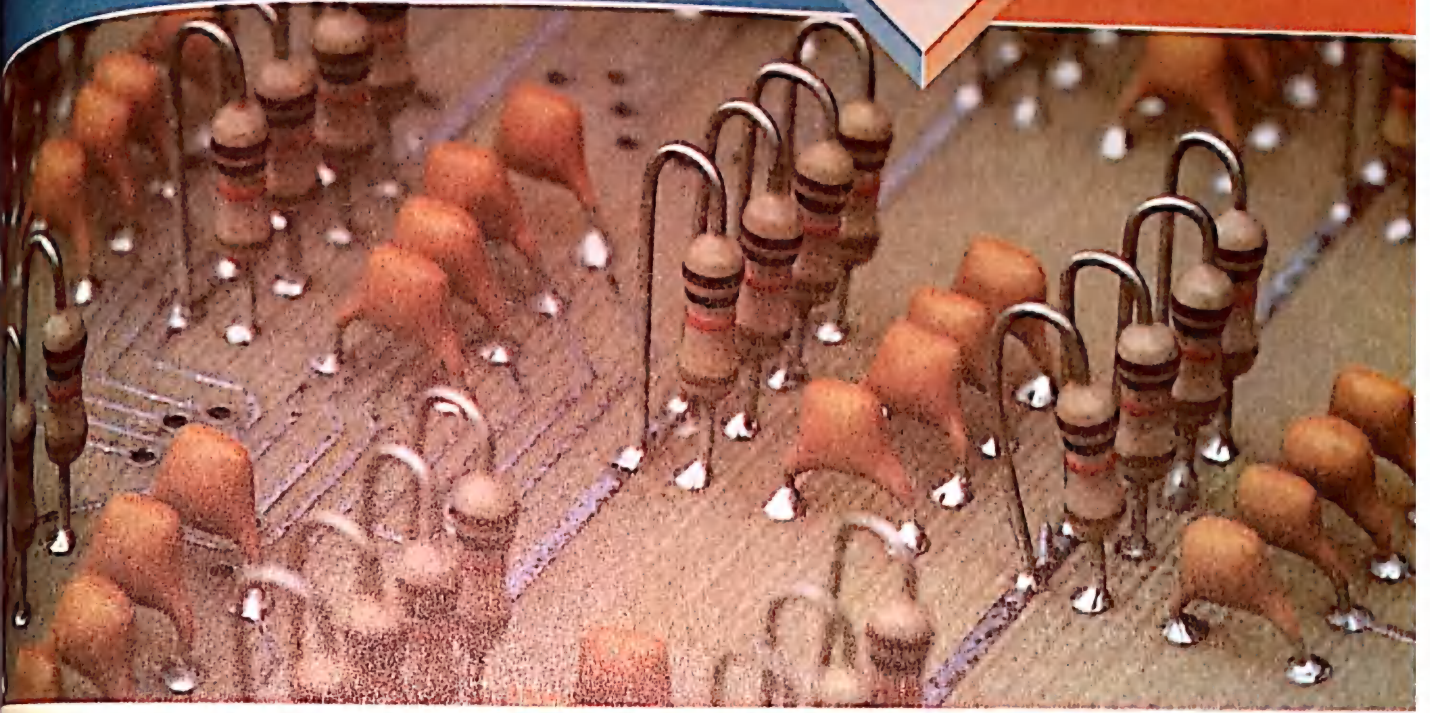
$$\frac{(P_w)_1}{(P_w)_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\therefore R_1 > R_2$$

$$\therefore (P_w)_1 < (P_w)_2$$

∴ إضاءة المصباح الأول > إضاءة المصباح الثانى.

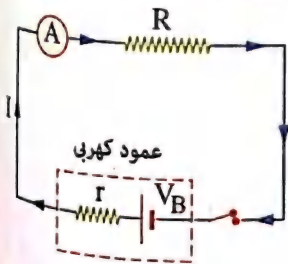




\* درسنا فيما سبق أن العمود الكهربى (البطارية) هو مصدر الجهد فى الدائرة الكهربائية، وبسبب مقاومة المواد المصنوع منها العمود الكهربى يكون لكل عمود كهربى مقاومة داخلية وبذلك تصبح المقاومة الكلية للدائرة هى المحصلة للمقاومة الخارجية المتصلة بالدائرة والمقاومة الداخلية للعمود الكهربى.

\* تقدر القوة الدافعة الكهربائية ( $V_B$ ) لمصدر كهربى بالشغل الكلى المبذول خارج وداخل المصدر الكهربى لنقل وحدة الشحنات الكهربائية فى الدائرة كلها،

وتكون : القوة الدافعة الكهربائية للمصدر = فرق الجهد الخارجى + فرق الجهد الداخلى.



\* إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربائية للعمود (البطارية) بالرمز ( $V_B$ ) وشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز ( $I$ ) وللمقاومة الخارجية بالرمز ( $R$ ) وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز ( $r$ ) كما بالشكل، فإن :

$$V_B = IR + Ir$$

القوة الدافعة الكهربائية = فرق الجهد عبر المقاومة الخارجية + فرق الجهد عبر المقاومة الداخلية

وتعرف هذه العلاقة بقانون أوم للدائرة المغلقة.

$$\therefore V = IR$$

$$\therefore V_B = V + Ir$$

$$\therefore V_B = IR + Ir$$

$$\therefore V_B = I(R + r)$$

حيث : (V) فرق الجهد بين طرفى المقاومة الخارجية أو فرق الجهد بين طرفى العمود عند مرور تيار كهربى فى الدائرة الكهربائية.

من قانون أوم للدائرة المغلقة يتضح أن :

عند زيادة المقاومة الخارجية (R) فى الدائرة الكهربائية السابقة،

**يزداد** فرق الجهد بين قطبى العمود (V)، لأنه بزيادة المقاومة الكلية للدائرة تقل شدة التيار المار فيها حيث  $(I = \frac{V_B}{R + r})$  فيقل فرق الجهد الداخلى (Ir) وحيث إن  $V_B$  ثابتة فإن فرق الجهد (V) بين طرفى البطارية يزداد تبعاً للعلاقة  $(V = V_B - Ir)$ .

فرق الجهد بين قطبى العمود (V) يصبح ،

(١) مساوى تقريباً للقوة الدافعة الكهربائية له  $(V_B)$ ،

**عندما** تصبح قيمة شدة التيار أو المقاومة الداخلية للعمود صغيرة جداً يمكن معها إهمال قيمة (Ir).

(٢) مساوى للقوة الدافعة الكهربائية له  $(V_B)$ ،

**عندما** تكون الدائرة الكهربائية مفتوحة.

القوة الدافعة الكهربائية  $(V_B)$  لعمود كهربى تكون أكبر من فرق الجهد (V) بين طرفيه،

**لأن** المقاومة الداخلية للعمود تستنفذ شغلاً لى يمر التيار الكهربى داخل العمود تبعاً للعلاقة  $(V_B = V + Ir)$  وبذلك تكون  $(V_B > V)$ .

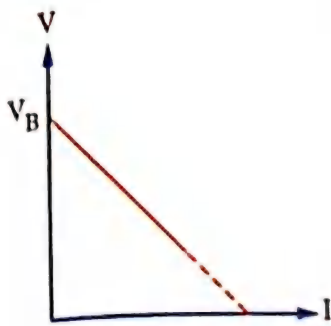
\* مما سبق يمكن تعريف القوة الدافعة الكهربائية لعمود كما يلى :

**القوة الدافعة الكهربائية لعمود  $(V_B)$**

مقدار الشغل الكلى المبذول لنقل كمية من الكهرباء مقدارها واحد كولوم (وحدة الشحنات الكهربائية) خارج وداخل العمود فى الدائرة الكهربائية.

أو  
فرق الجهد بين قطبى العمود فى حالة عدم مرور تيار كهربى فى الدائرة (المفتاح مفتوح).

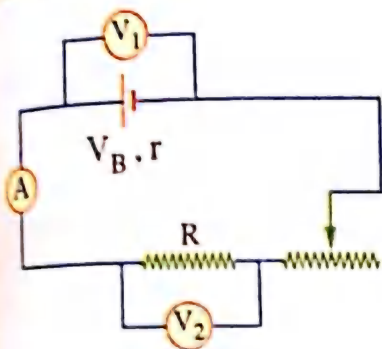
\* تقاس القوة الدافعة الكهربائية لمصدر بوحدة الفولت.



\* التمثيل البياني للعلاقة بين فرق الجهد بين طرفي مصدر كهربى وشدة التيار المار فى الدائرة الكهربائية :

$$\text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta I} = -r$$

### ملحوظة



\* فى الدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل، عند

زيادة قيمة المقاومة المأخوذة من الريوستات :

(١) تقل شدة التيار المار فى الدائرة (I) تبعاً

$$\text{للعلاقة } (I = \frac{V_B}{R + r})$$

(٢) يزداد فرق الجهد ( $V_1$ ) بين قطبي البطارية،

**لأنه** نظراً لنقص قيمة شدة التيار المار فى الدائرة يقل فرق الجهد الداخلى ( $Ir$ )

وحيث إن قيمة القوة الدافعة الكهربائية ( $V_B$ ) للبطارية ثابتة فإن فرق الجهد ( $V_1$ ) بين طرفي البطارية يزداد.

(٣) تزداد المقاومة الكلية للدائرة فتقل شدة التيار المار فى المقاومة R فيقل فرق الجهد

بين طرفي المقاومة R طبقاً للعلاقة ( $V_2 = IR$ ) عند ثبوت قيمة R

### مثال

عمود كهربى قوته الدافعة الكهربائية 2 V وصل فى دائرة كهربية، فإذا كانت المقاومة الداخلية له  $0.1 \Omega$  والمقاومة الخارجية  $3.9 \Omega$  ، **احسب** شدة التيار الكلى فى الدائرة.

**الحل**

$$V_B = 2 \text{ V}$$

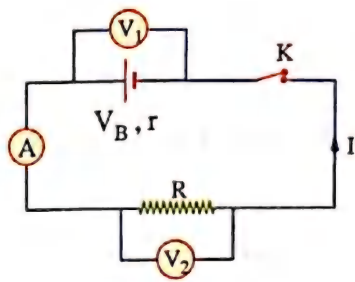
$$r = 0.1 \Omega$$

$$R = 3.9 \Omega$$

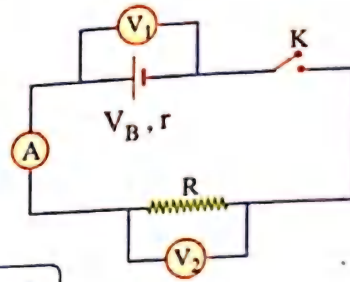
$$I = ?$$

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5 \text{ A}$$

\* في الدائرة الموضحة بالشكل إذا كان المفتاح K :



مغلق



مفتوح

شدة التيار الكلي

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{V_B - V_1}{r} = \frac{V_2}{R}$$

$$I = 0$$

فرق الجهد بين طرفي العمود الكهربى

$$V_1 = V_B - Ir$$

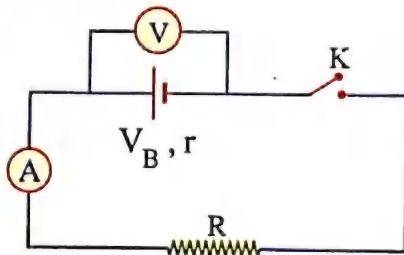
$$V_1 = V_B$$

فرق الجهد بين طرفي المقاومة (R)

$$V_2 = IR$$

$$V_2 = 0$$

مثال



إذا كانت قراءة الفولتميتر والمفتاح K مفتوح 24 V وعند غلق المفتاح K أصبحت قراءة الفولتميتر 20 V وقراءة الأميتر 2 A،

(1) احسب :

١- القوة الدافعة الكهربائية للعمود الكهربى.

٢- المقاومة الداخلية للعمود الكهربى.

٣- قيمة المقاومة R

(ب) إذا استبدلت المقاومة R بمقاومة 4 Ω، احسب قراءة كل من الأميتر والفولتميتر.

الحل

(1) ١- المفتاح K مفتوح :

$$V_B = V = 24 \text{ V}$$

٢- عند غلق المفتاح K :

$$V_B = V + Ir$$

$$24 = 20 + 2r$$

$$r = 2 \Omega$$

$$V = IR$$

$$20 = 2 R$$

$$R = 10 \Omega$$

$$I = \frac{V_B}{R + r} = \frac{24}{4 + 2} = 4 \text{ A}$$

$$V = V_B - Ir = 24 - (4 \times 2) = 16 \text{ V}$$

(ب)

∴ قراءة الأميتر هي **4 A**

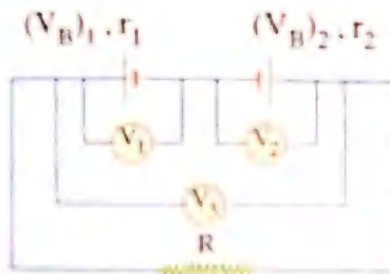
∴ قراءة الفولتميتر هي **16 V**

## إرشاد

\* في حالة عمودين كهربيين متصلين على التوالي :

في اتجاهين متعاكسين

(الأقطاب المتشابهة تتصل معًا)



$$((V_B)_2 < (V_B)_1 \text{ حيث})$$

$$I = \frac{(V_B)_1 - (V_B)_2}{R + r_1 + r_2}$$

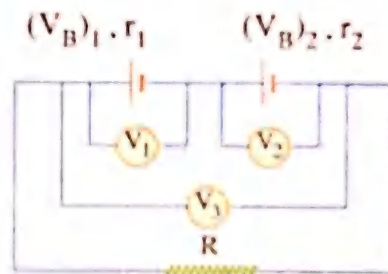
$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 \text{ (حالة تفريغ)}$$

$$V_2 = (V_B)_2 + Ir_2 \text{ (حالة شحن)}$$

$$V_3 = V_1 - V_2 = IR$$

في نفس الاتجاه

(الأقطاب المختلفة تتصل معًا)



فإن

$$I = \frac{(V_B)_1 + (V_B)_2}{R + r_1 + r_2}$$

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 \text{ (حالة تفريغ)}$$

$$V_2 = (V_B)_2 - Ir_2 \text{ (حالة تفريغ)}$$

$$V_3 = V_1 + V_2 = IR$$

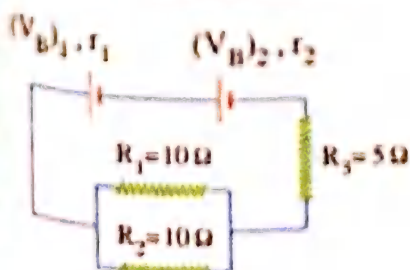
## مثال ١

في الدائرة المقابلة،

إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية للعمودين  $(V_B)_1 = 10 \text{ V}$

$(V_B)_2 = 14 \text{ V}$  والمقاومة الداخلية لهما  $0.5 \Omega$  ،  $1.5 \Omega$

على الترتيب، احسب،



- (أ) شدة التيار المار في الدائرة.  
(ب) فرق الجهد بين طرفي كل من العمودين.

الحل

$$(V_B)_1 = 10 \text{ V} \quad (V_B)_2 = 14 \text{ V} \quad r_1 = 0.5 \Omega \quad r_2 = 1.5 \Omega \quad R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 10 \Omega \quad R_3 = 5 \Omega \quad I = ? \quad V_1 = ? \quad V_2 = ?$$

$$\hat{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = \frac{10 \times 10}{10 + 10} + 5 = 10 \Omega \quad (i)$$

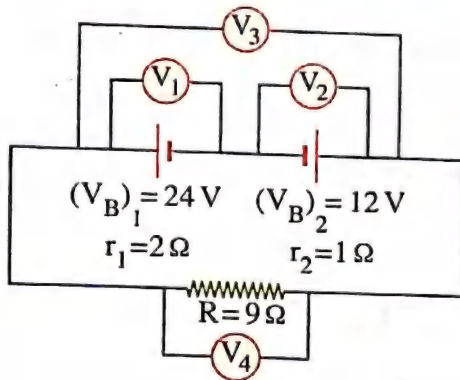
$$I = \frac{(V_B)_1 + (V_B)_2}{\hat{R} + r_1 + r_2} = \frac{10 + 14}{10 + 0.5 + 1.5} = 2 \text{ A}$$

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 = 10 - (2 \times 0.5) = 9 \text{ V} \quad (b)$$

$$V_2 = (V_B)_2 - Ir_2 = 14 - (2 \times 1.5) = 11 \text{ V}$$

مثال ٢

مستخدمًا البيانات الموضحة على الشكل المقابل،  
احسب قراءة كل من:  $V_4$ ،  $V_3$ ،  $V_2$ ،  $V_1$



الحل

$$(V_B)_1 = 24 \text{ V} \quad (V_B)_2 = 12 \text{ V} \quad r_1 = 2 \Omega \quad r_2 = 1 \Omega \quad R = 9 \Omega$$

$$V_1 = ? \quad V_2 = ? \quad V_3 = ? \quad V_4 = ?$$

$$I = \frac{(V_B)_1 - (V_B)_2}{R + r_1 + r_2} = \frac{24 - 12}{9 + 2 + 1} = 1 \text{ A}$$

$$V_1 = (V_B)_1 - Ir_1 = 24 - (1 \times 2) = 22 \text{ V}$$

(حالة تفريغ)

$$V_2 = (V_B)_2 + I r_2 = 12 + (1 \times 1) = 13 \text{ V}$$

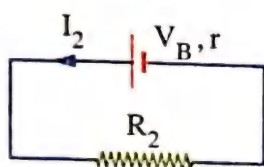
(حالة شحن)

$$V_3 = V_1 - V_2 = 22 - 13 = 9 \text{ V}$$

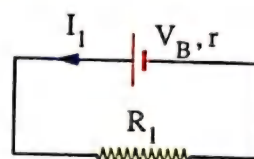
$$V_4 = I R = 1 \times 9 = 9 \text{ V}$$

## إرشاد

\* عند استبدال المقاومة الخارجية  $R_1$  والتي يمر بها تيار شدته  $I_1$  بمقاومة أخرى  $R_2$  تتغير شدة التيار المار في الدائرة إلى  $I_2$  عند توصيلها بنفس البطارية :



$$V_B = I_2 (R_2 + r)$$



$$V_B = I_1 (R_1 + r)$$

وتحل المعادلتان جبرياً لإيجاد القيم المجهولة

## مثال

مقاومتان متماثلتان قيمة كل منهما  $R$  عندما وصلتا معاً على التوالي بعمود كهربى مقاومته الداخلية  $2 \Omega$  يمر بكل منهما تيار شدته  $2.4 \text{ A}$  وعندما يوصلا معاً على التوازي بنفس المصدر يمر بكل منهما  $3 \text{ A}$ ، احسب قيمة  $R$  وكذلك القوة الدافعة الكهربائية للعمود.

الحل

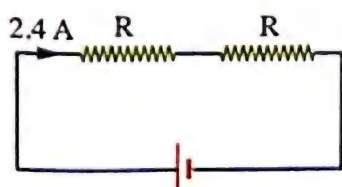
$$r = 2 \Omega$$

$$I_1 = 2.4 \text{ A}$$

$$I_2 = 3 \text{ A}$$

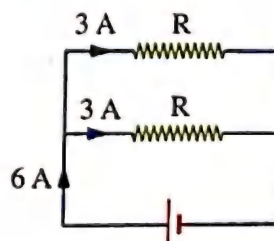
$$R = ?$$

$$V_B = ?$$



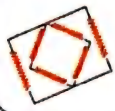
$$V_B = I_1 (\bar{R}_1 + r)$$

$$V_B = 2.4 (2R + 2) \quad (1)$$



$$V_B = I_2 (\bar{R}_2 + r)$$

$$V_B = 6 \left( \frac{R}{2} + 2 \right) \quad (2)$$



من المعادلتين ① ، ②

$$2.4 (2R + 2) = 6 \left( \frac{R}{2} + 2 \right)$$

$$4.8R + 4.8 = 3R + 12$$

$$R = 4 \Omega$$

بالتعويض في المعادلة ①

$$V_B = 2.4 (2 \times 4 + 2)$$

$$= 24 V$$



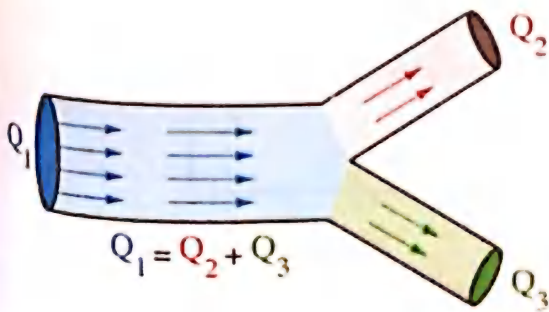


\* هناك دوائر كهربية معقدة يصعب حلها مباشرةً بتطبيق قانون أوم عليها، لذلك قام العالم الألماني كيرشوف (Kirchhoff) بوضع قانونين يمكن من خلالهما التعامل مع هذه الدوائر وسوف نتناول كل منهما فيما يلي بشيء من التفصيل :

### القانون الأول لكيرشوف

\* لقد عرفنا أن التيار الكهربى فى الموصلات المعدنية عبارة عن سيل من الإلكترونات السالبة (شحنات كهربية) تنتقل من نقطة لأخرى.

\* تبعاً لقانون حفظ الشحنة فإن مقدار الشحنة الكهربائية الداخلة إلى نقطة ما فى زمن معين هو نفس مقدار الشحنة الخارجة من هذه النقطة فى نفس الزمن ولأن شدة التيار تساوى مقدار الشحنات الكهربائية التى تعبر خلال مقطع معين فى الثانية الواحدة، فإن القانون الأول لكيرشوف ينص على :



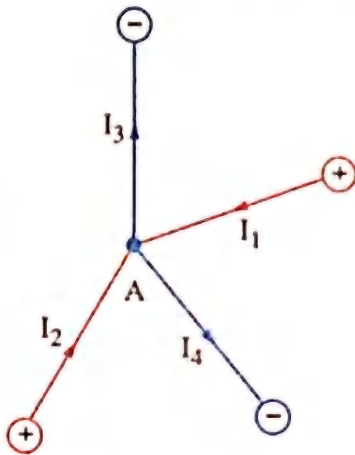
## نص القانون الأول لكيرشوف

مجموع التيارات الكهربائية الداخلة عند نقطة في دائرة كهربائية مغلقة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها.

أو  
المجموع الجبري للتيارات عند نقطة في دائرة مغلقة يساوي صفر.

\* تطبيق على القانون الأول لكيرشوف :

٢ المجموع الجبري للتيارات عند نقطة  
تفرع في دائرة مغلقة = صفر



$$\sum I = 0$$

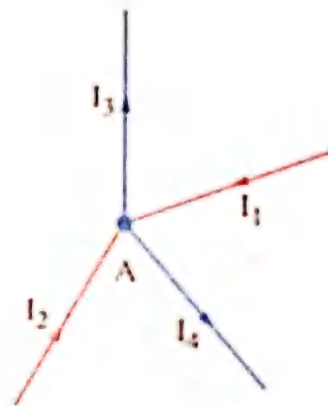
الصيغة الرياضية

عند نقطة التفرع

- التيار الداخل للنقطة تكون إشارته موجبة.
- التيار الخارج من النقطة تكون إشارته سالبة.

$$\therefore I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

١ مجموع التيارات الداخلة للنقطة =  
مجموع التيارات الخارجة من النقطة



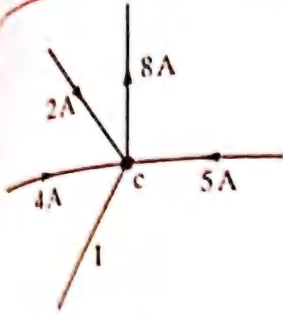
$$\sum I_{(الداخلة)} = \sum I_{(الخارجة)}$$

- التيار الداخل للنقطة والخارج منها تكون إشارته موجبة.

$$\therefore I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

## مثال ١

من الشكل المقابل، احسب مقدار شدة التيار (I) وحدد اتجاهه.



## الحل

بفرض اتجاه التيار (I) إلى داخل النقطة (c)

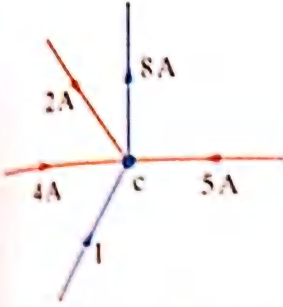
طبقاً لقانون كيرشوف الأول

$$\sum I_{\text{(الداخلية)}} = \sum I_{\text{(الخارجية)}}$$

$$4 + 5 + 2 + I = 8$$

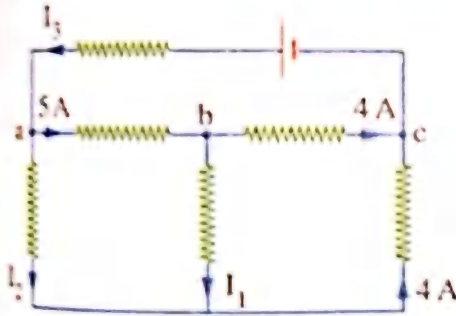
$$I = -3 \text{ A}$$

∴ مقدار شدة التيار I يساوى 3 A واتجاهه خارج من النقطة c (عكس الاتجاه المفروض).



## مثال ٢

احسب قيم شدة التيارات المجهولة فى الدائرة المبينة بالشكل المقابل.



## الحل

عند النقطة (a) هناك تياران مجهولان  $I_2$  ،  $I_3$  بينما عند كل من النقطتين (b) ، (c) ، هناك تيار واحد مجهول القيمة  $I_1$  ،  $I_3$  على الترتيب.

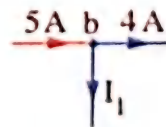
### التطبيق

### الرسم

عند النقطة (b)

$$5 = I_1 + 4$$

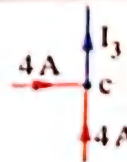
$$I_1 = 1 \text{ A}$$



عند النقطة (c)

$$4 + 4 = I_3$$

$$\therefore I_3 = 8 \text{ A}$$



عند النقطة (a)

$$I_3 = 5 + I_2$$

$$8 = 5 + I_2$$

$$\therefore I_2 = 8 - 5 = 3 \text{ A}$$





## القانون الثانى لكيرشوف

\* درسنا فيما سبق أن القوة الدافعة الكهربائية لدائرة مغلقة تعبر عن الشغل المبذول لتحريك الشحنات الكهربائية خلال الدائرة كلها مرة واحدة بينما فرق الجهد الكهربى بين نقطتين يعبر عن الشغل المبذول لتحريك الشحنات الكهربائية بين هاتين النقطتين (جزء من الدائرة)، وتبعاً لذلك قام كيرشوف بصياغة العلاقة بين فرق الجهد الكهربى ( $V$ ) والقوة الدافعة الكهربائية ( $V_B$ ) فى قانونه الثانى كما يلى :

### نص القانون الثانى لكيرشوف

المجموع الجبرى للقوى الدافعة (المحركة) الكهربائية فى دائرة مغلقة يساوى المجموع الجبرى لفرق الجهد فى الدائرة.

أو

المجموع الجبرى لفرق الجهد الكهربى فى مسار مغلق يساوى صفر.

### ملاحظات

\* عند حل مسائل قانون كيرشوف الثانى لابد من افتراض اتجاه لكل مسار مغلق فى اتجاه عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة.

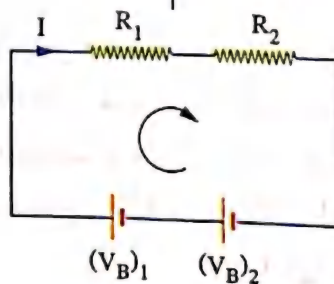
\* يطبق القانون الثانى لكيرشوف على أى مسار مغلق.

\* يعتبر القانون الثانى لكيرشوف تطبيقاً لقانون بقاء الطاقة.

### \* تطبيق على القانون الثانى لكيرشوف :

المجموع الجبرى لفرق الجهد الكهربى فى الدائرة الكهربائية = صفر

المجموع الجبرى للقوى الدافعة الكهربائية = المجموع الجبرى لفرق الجهد



الصيغة الرياضية

$$\Sigma V = 0$$

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

وبالتالى

$$\therefore (V_B)_1 + (V_B)_2 - IR_1 - IR_2 = 0$$

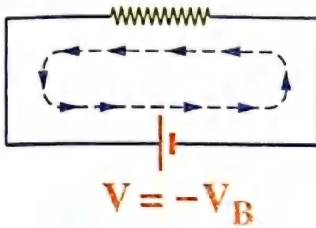
$$\therefore (V_B)_1 + (V_B)_2 = IR_1 + IR_2$$

## قاعدة تحديد إشارات فروق الجهد بين طرفى المقاومات والبطاريات

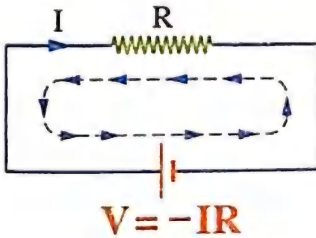
\* يجب مراعاة قاعدة الإشارات الآتية عند تطبيق قانون كيرشوف الثانى على مسار مغلق مستخدماً الصيغة الرياضية :

$$\Sigma V_B = \Sigma IR \quad (1)$$

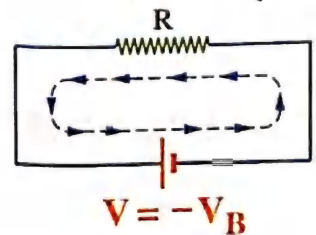
- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب الموجب إلى القطب السالب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربائية لهذا المصدر تأخذ إشارة سالبة.



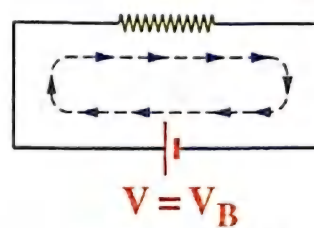
- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو عكس اتجاه التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة سالبة.



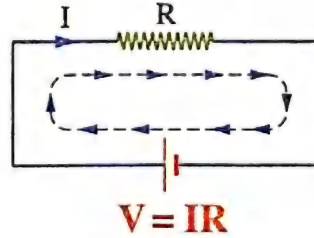
- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب الموجب إلى القطب السالب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربائية لهذا المصدر تأخذ إشارة سالبة.



- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربائية لهذا المصدر تأخذ إشارة موجبة.

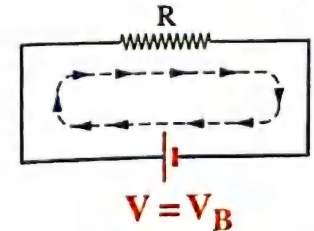


- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه هو نفس اتجاه التيار المار فى مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفى هذه المقاومة يأخذ إشارة موجبة.

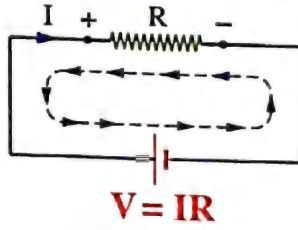


$$\Sigma V = 0 \quad (2)$$

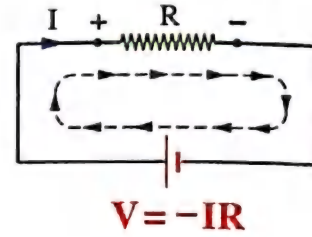
- إذا كان اتجاه المسار الذى فرضناه من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل مصدر الجهد (البطارية) فإن القوة الدافعة الكهربائية لهذا المصدر تأخذ إشارة موجبة.



- إذا كان اتجاه المسار الذي فرضناه هو نفس اتجاه التيار المار في مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفي هذه المقاومة يأخذ إشارة موجبة.



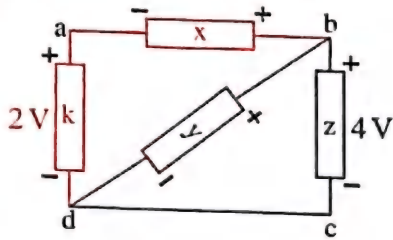
- إذا كان اتجاه المسار الذي فرضناه هو عكس اتجاه التيار المار في مقاومة ما، فإن فرق الجهد بين طرفي هذه المقاومة يأخذ إشارة سالبة.



### مثال

من الدائرة الموضحة،

احسب قيمة  $V_x$  ،  $V_y$



$$V_z = 4 \text{ V}$$

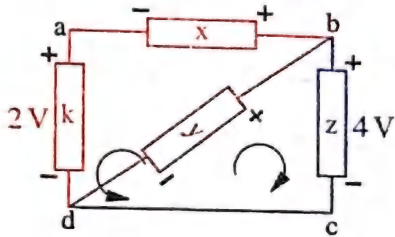
$$V_k = 2 \text{ V}$$

$$V_x = ?$$

$$V_y = ?$$

الحل

نفرض اتجاهات المسارات كما هو موضح بالدائرة :



بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على المسار (adcba)

$$\Sigma V = 0$$

$$-V_x - V_k + V_z = 0$$

$$-V_x - 2 + 4 = 0$$

$$V_x = 2 \text{ V}$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على المسار (bcdcb)

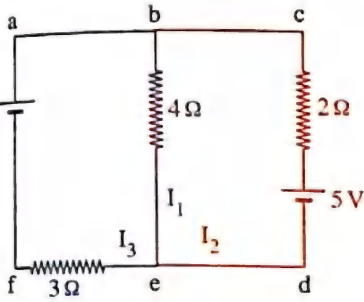
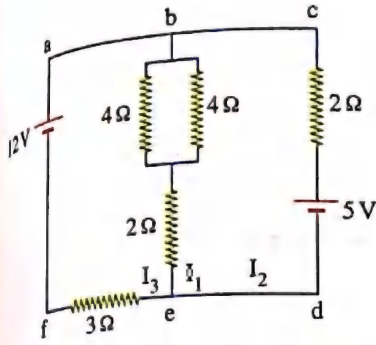
$$V_y - V_z = 0$$

$$V_y - 4 = 0$$

$$V_y = 4 \text{ V}$$

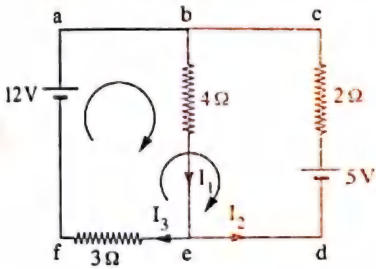
## كيفية حل مسائل كيرشوف

\* إذا كان لديك دائرة كهربائية كالموضحة بالشكل  
فلحساب شدة التيار المار في كل مقاومة نتبع  
الخطوات الآتية :



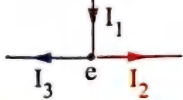
\* إذا كان هناك مجموعة مقاومات متصلة معاً على  
التوالي أو التوازي يفضل إيجاد المقاومة المكافئة  
لها قبل البدء في تطبيق قانوني كيرشوف.

«الكميات المجهولة هي  $I_1$ ،  $I_2$ ،  $I_3$ »



\* افرض اتجاهًا معينًا لكل تيار مجهول  
«هذه الاتجاهات ليست بالضرورة صحيحة».  
\* حدد عدد الكميات المجهولة المراد حسابها.  
\* افرض اتجاهًا لكل مسار مغلق.  
«مع عقارب الساعة أو عكس عقارب الساعة».

عند نقطة التفرع (e)



$$I_1 = I_2 + I_3$$

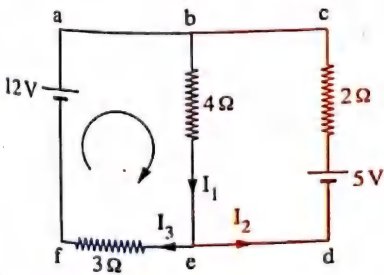
①

\* طبق قانون كيرشوف الأول عند نقطة تفرع  
التيار بحيث يكون :

$$\sum I_{\text{(الخارجة)}} = \sum I_{\text{(الدخلة)}}$$

وبذلك تكون قد حصلت على المعادلة الأولى.

عبر المسار (abefa)



$$12 = 4 I_1 + 3 I_3$$

②

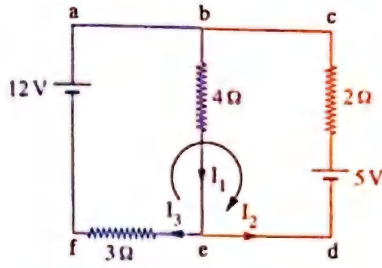
\* اختر مسارًا مغلقًا وطبق قانون كيرشوف  
الثاني خلاله مع مراعاة قاعدة الإشارات  
بحيث يكون :

$$\sum V_B = \sum IR$$

وبذلك تكون قد حصلت على المعادلة الثانية.



عبر المسار (abcdefa)



$$12 - 5 = 3 I_3 - 2 I_2$$

$$7 = 3 I_3 - 2 I_2$$

③

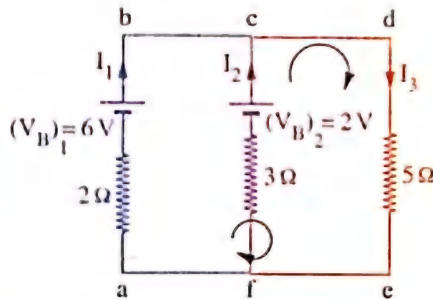
\* كرر الخطوة السابقة على عدة مسارات حتى يتساوى عدد المعادلات مع عدد القيم المجهولة.

\* حل المعادلات ① ، ② ، ③ أنياً أو باستخدام الآلة الحاسبة وبذلك تكون قد حصلت على القيم المجهولة، وهى :  $I_1 = 1.5 \text{ A}$  ،  $I_2 = -0.5 \text{ A}$  ،  $I_3 = 2 \text{ A}$

\* إذا كانت القيمة المحسوبة للتيار :

- موجبة : يكون الاتجاه الصحيح للتيار هو نفس الاتجاه المفروض فى البداية.
- سالبة : يكون الاتجاه الصحيح للتيار فى عكس الاتجاه المفروض فى البداية.

### مثال ١



- فى الدائرة الموضحة بالشكل المقابل، احسب :
- (أ) شدة التيار المار فى كل فرع.
  - (ب) فرق الجهد بين النقطتين a ، b

الحل

(١) بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (c)

$$\Sigma I_{(الداخلية)} = \Sigma I_{(الخارجية)}$$

$$I_1 + I_2 = I_3$$

①

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (abcdefa)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$6 = 2 I_1 + 5 I_3$$

②

بتطبيق قانون كيرشوف الثانى على المسار (fcdef)

$$\Sigma V_B = \Sigma IR$$

$$2 = 3 I_2 + 5 I_3$$

③

بحل المعادلات ① ، ② ، ③ باستخدام الآلة الحاسبة :

$$\therefore I_1 = 1.226 \text{ A} , \quad I_2 = -0.516 \text{ A} , \quad I_3 = 0.71 \text{ A}$$

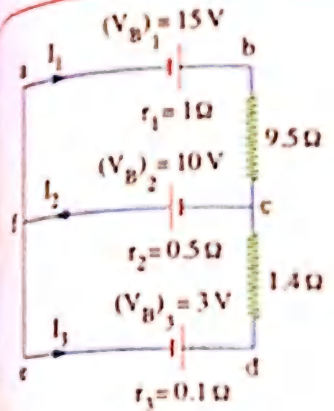
(ب) حساب فرق الجهد بين النقطتين a , b

$$V_{ab} = (V_B)_1 - I_1 R$$

$$= 6 - (1.226 \times 2) = 3.548 \text{ V}$$

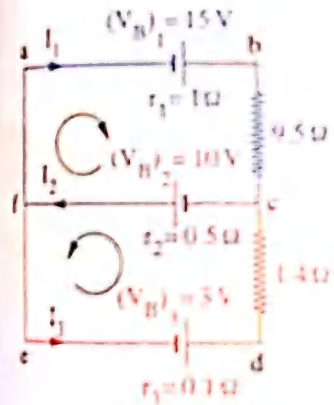
## مثال 2

من الدائرة الموضحة بالشكل المقابل،  
احسب قيمة شدة التيار المار في كل فرع.



## الحل

نفرض اتجاهات المسارات  
كما هو موضح بالدائرة.



بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (f)

$$\sum I_{(الداخلية)} = \sum I_{(الخارجية)}$$

$$I_2 = I_1 + I_3 \quad \text{①}$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على المسار (fabcf)

$$\sum V_B = \sum IR$$

$$15 + 10 = (1 + 9.5) I_1 + 0.5 I_2$$

$$25 = 10.5 I_1 + 0.5 I_2 \quad \text{②}$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على المسار (edcfe)

$$\sum V_B = \sum IR$$

$$3 + 10 = (0.1 + 1.4) I_3 + 0.5 I_2$$

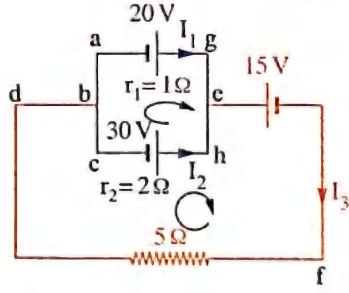
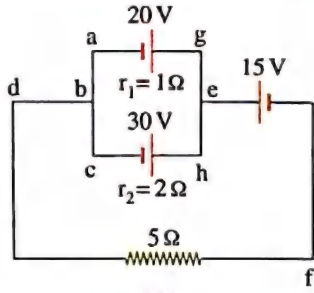
$$13 = 1.5 I_3 + 0.5 I_2 \quad \text{③}$$

وبحل المعادلات ① ، ② ، ③ باستخدام الآلة الحاسبة :

$$I_1 = 2 \text{ A} , \quad I_2 = 8 \text{ A} , \quad I_3 = 6 \text{ A}$$



### مثال ٣



- من الدائرة الموضحة بالشكل المقابل، احسب :
- شدة التيار المار في كل بطارية.
  - فرق الجهد بين قطبي كل بطارية.
  - فرق الجهد بين طرفي المقاومة  $5 \Omega$

### الحل

(أ) نفرض اتجاهات التيارات والمسارات كما هو موضح بالدائرة.

بتطبيق قانون كيرشوف الأول عند النقطة (e)

$$\sum I_{(الداخلية)} = \sum I_{(الخارجية)}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

$$\sum V_B = \sum IR$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على المسار (cbagehc)

$$20 - 30 = I_1 - 2 I_2$$

$$-10 = I_1 - 2 I_2 \quad (2)$$

$$\sum V_B = \sum IR$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على المسار (dbagefd)

$$20 - 15 = I_1 + 5 I_3$$

$$5 = I_1 + 5 I_3 \quad (3)$$

وبحل المعادلات (1)، (2)، (3) باستخدام الآلة الحاسبة :

$$I_1 = -2.35 \text{ A}, \quad I_2 = 3.82 \text{ A}, \quad I_3 = 1.47 \text{ A}$$

(ب) حساب فرق الجهد بين قطبي البطارية 20 V :

$$V_1 = (V_B)_1 - I_1 r_1 = 20 - (-2.35 \times 1) = 22.35 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد بين قطبي البطارية 30 V :

$$V_2 = (V_B)_2 - I_2 r_2 = 30 - (3.824 \times 2) = 22.35 \text{ V}$$

$$V_3 = 15 \text{ V}$$

فرق الجهد بين قطبي البطارية 15 V :

$$V = I_3 \times 5 = 1.47 \times 5 = 7.35 \text{ V}$$

(ج) فرق الجهد بين طرفي المقاومة  $5 \Omega$  :



## الوحدة الأولى

الكهربية التيارية  
والكهرومغناطيسية

## التأثير المغناطيسي للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

## الفصل 2

التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى.

الدرس الأول

تابع التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى.

الدرس الثانى

• القوة المغناطيسية.

الدرس الثالث

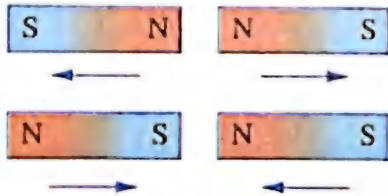
• عزم الازدواج.

أجهزة القياس الكهربى.

الدرس الرابع

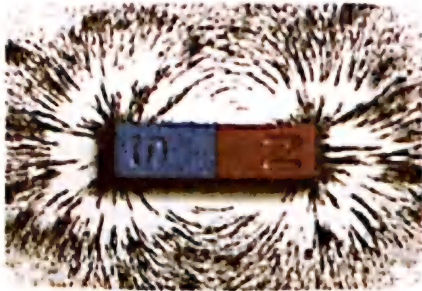


\* المغناطيس حجر طبيعى يجذب الأجسام التى تحتوى على حديد كدبابيس الورق والمسامير، وتسمى المنطقة المحيطة بالمغناطيس والتى يظهر فيها تأثيره على هذه الأجسام بالمجال المغناطيسى للمغناطيس.



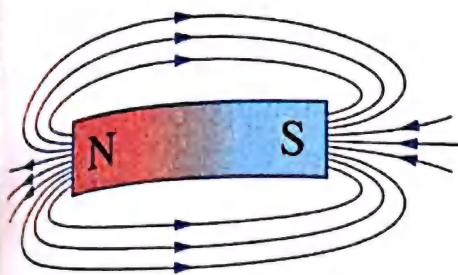
\* ثبت علمياً أن «الأقطاب المغناطيسية المتشابهة تتنافر والأقطاب المغناطيسية المختلفة تتجاذب» ولذلك عند تعليق مغناطيس حر الحركة من منتصفه فإن قطبه الشمالى (N) يشير إلى اتجاه الشمال الجغرافى وقطبه الجنوبى (S) يشير إلى اتجاه الجنوب الجغرافى (فكرة عمل البوصلة).

#### تخطيط المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى



عند نثر برادة حديد على لوح ورق مقوى ووضع قضيب مغناطيسى فوق اللوح ثم الطرق على لوح الورق طرقات خفيفة تترتب برادة الحديد على هيئة خطوط منحنية تسمى خطوط الفيض المغناطيسى (خطوط المجال المغناطيسى).

## خواص خطوط الفيض المغناطيسي



١ تتجه من القطب الشمالى للمغناطيس إلى القطب الجنوبى للمغناطيس خارج المغناطيس ومن القطب الجنوبى للمغناطيس إلى القطب الشمالى للمغناطيس داخل المغناطيس، أى أنها تُكوّن مسارات مغلقة.

٢ لا تتقاطع مع بعضها.

٣ تتزاحم عند قطبى المغناطيس وتتباعد بالبعد عن القطبين.

٤ اتجاه المجال المغناطيسى عند أى نقطة هو المماس لخط المجال عند تلك النقطة.

## الفيض المغناطيسى Magnetic flux

كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة (B)

الفيض المغناطيسى لوحدة المساحات العمودية على خطوط الفيض المحيطة بتلك النقطة.

\* يُعبر عن شدة المجال المغناطيسى عند

نقطة بكثافة الفيض المغناطيسى عند تلك النقطة (B).

\* إذا وُضع سطح مساحته A فى مجال مغناطيسى،

فإن الفيض المغناطيسى ( $\phi_m$ ) يتعين من العلاقة :

$$\phi_m = BA \sin \theta$$

حيث : ( $\theta$ ) الزاوية المحصورة بين اتجاه المجال والمساحة.

فإذا كانت خطوط الفيض

$$\theta = 90^\circ$$

- عمودية على المساحة :



$$\phi_m = BA \sin 90 = BA$$

أى يكون الفيض المغناطيسى قيمة عظمى

$$\theta = 0^\circ$$

- موازية للمساحة :



$$\phi_m = BA \sin 0 = 0$$

أى ينعدم الفيض المغناطيسى

فإن



\* وحدة قياس الفيض المغناطيسى ( $\phi_m$ ) هي الـ وېر ("weber" Wb)، ووحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسى (B) هي الـ وېر/متر<sup>2</sup> ( $\text{Wb/m}^2$ ) وتكافئ التسلا ("tesla" T).

### مثال

ملف مساحة مقطعه  $0.3 \text{ m}^2$  وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه  $0.05 \text{ T}$ ، احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال الملف إذا كان الملف :

(أ) عمودى على الفيض. (ب) موازى للفيض. (ج) يصنع زاوية  $30^\circ$  مع الفيض.

### الحل

$$A = 0.3 \text{ m}^2 \quad B = 0.05 \text{ T} \quad \phi_m = ?$$

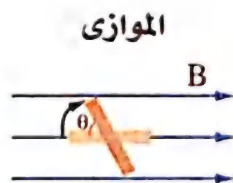
$$\phi_m = BA \sin \theta = 0.05 \times 0.3 \times \sin 90 = 0.015 \text{ Wb} \quad (أ)$$

$$\phi_m = 0 \quad (ب)$$

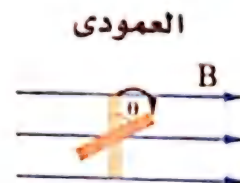
$$\phi_m = 0.05 \times 0.3 \times \sin 30 = 7.5 \times 10^{-3} \text{ Wb} \quad (ج)$$

### إرشاد

\* إذا دار الملف بزاوية  $\theta$  من الوضع :



$$\phi_m = BA \sin \theta$$



$$\phi_m = BA \sin (90 - \theta)$$

فإن

### مثال

ملف مساحته  $2 \text{ m}^2$  وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه  $0.05 \text{ Wb/m}^2$ ،

احسب الفيض المغناطيسى عندما يدور الملف :

(أ) بزاوية  $30^\circ$  مبتدئاً من الوضع العمودى على المجال.

(ب) بزاوية  $30^\circ$  مبتدئاً من الوضع الموازى للمجال.

الحل

$$A = 2 \text{ m}^2$$

$$B = 0.05 \text{ Wb/m}^2$$

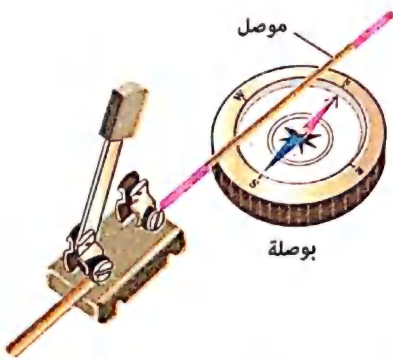
$$\phi_m = ?$$

$$\phi_m = BA \sin (90 - \theta) = 0.05 \times 2 \times \sin (90 - 30) = 0.087 \text{ Wb} \quad (1)$$

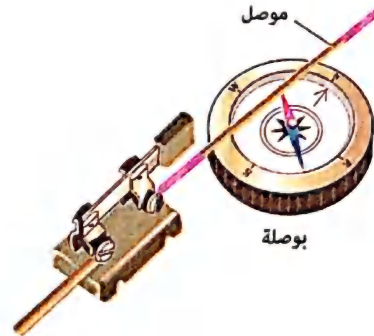
$$\phi_m = BA \sin \theta = 0.05 \times 2 \times \sin 30 = 0.05 \text{ Wb} \quad (ب)$$

### التأثير المغناطيسي للتيار الكهربى

\* مثلما ينشأ مجال مغناطيسى عن وجود مغناطيس فإن مرور التيار الكهربى فى موصل يُنشئ مجال مغناطيسى حول هذا الموصل وهو ما يطلق عليه **التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى** وهذا ما اكتشفه العالم الدنماركى هانز أورستد عام ١٨١٩م عندما وضع بوصلة صغيرة فوق أو أسفل سلك يمر به تيار كهربى وموازية له فلاحظ انحراف إبرة البوصلة، وعندما قطع التيار الكهربى استعادت البوصلة اتجاهها الأسمى.



لا ينحرف مؤشر البوصلة فى حالة قطع التيار



يمر تيار فينحرف مؤشر البوصلة

\* فيما يلى سندرس المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى موصل على هيئة:

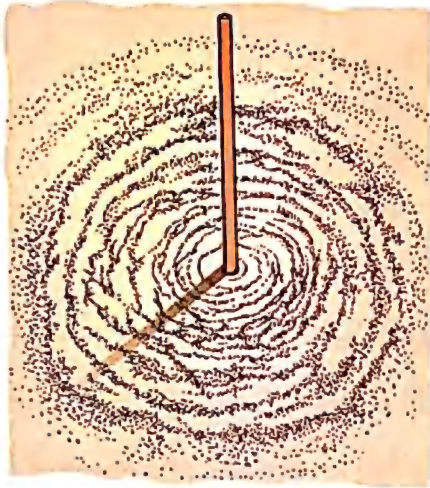




## أولاً المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم

### شكل خطوط الفيض المغناطيسى

\* للتعرف على شكل خطوط الفيض المغناطيسى نجرى الخطوات الاتية :



١ انثر برادة حديد على لوح من الورق المقوى موضوع أفقياً ويخترقه سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى وضع رأسى، واطرق لوح الورق طرقات خفيفة.

**الملاحظة :** تترتب برادة الحديد على هيئة دوائر متحدة المركز ومركزها السلك بحيث تتزاحم الدوائر بالقرب من السلك وتتباعدها بعده.

٢ قم بزيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك، واطرق لوح الورق مرة أخرى.

**الملاحظة :** يزداد تزاخم الدوائر حول السلك.

\* الاستنتاج :

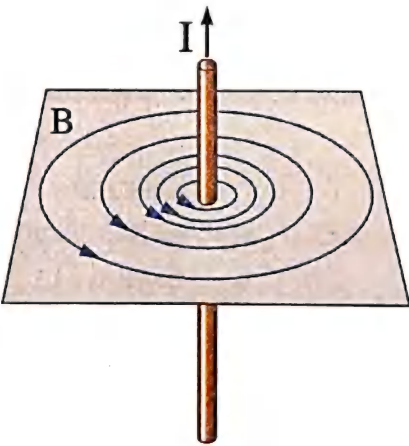
١ تعبر الدوائر عن خطوط الفيض المغناطيسى.

٢ تتزاحم خطوط الفيض المغناطيسى لنفس التيار بالقرب من السلك وتتباعدها عن بعضها بزيادة البعد عن السلك،

أى أن : كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة تتناسب عكسياً مع بُعدها العمودى عن محور السلك.

٣ يزداد تزاخم خطوط الفيض المغناطيسى على نفس البعد العمودى عن السلك عند زيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى تزداد بزيادة شدة التيار الكهربى المار فى السلك وتقل بنقص شدة التيار الكهربى،

أى أن : كثافة الفيض المغناطيسى تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربى ( $B \propto I$ ).



### حساب كثافة الفيض المغناطيسى

\* عند مرور تيار كهربى شدته  $I$  فى سلك مستقيم فإن كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بُعدها العمودى عن محور السلك  $d$  :

$$B \propto I$$

$$B \propto \frac{1}{d}$$

$$\therefore B \propto \frac{I}{d}$$

$$\therefore B = \text{constant} \times \frac{I}{d}$$

$$\therefore B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

وتسمى هذه العلاقة قانون أمبير الدائرى،

حيث :  $(\mu)$  معامل النفاذية المغناطيسية للوسط وهو ثابت للوسط الواحد ووحدة قياسه هى تسلا. متر/ أمبير ( $T.m/A$ ) وتكافئ وبر/ أمبير. متر ( $Wb/A.m$ ).

معامل النفاذية المغناطيسية لوسط ( $\mu$ )

قابلية الوسط لنفاذ الفيض المغناطيسى خلاله.

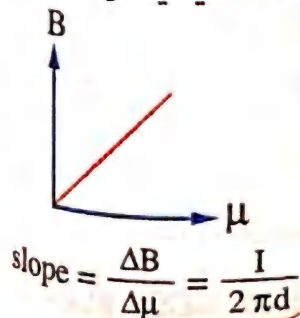
\* معامل النفاذية المغناطيسية للهواء  $4 \pi \times 10^{-7} Wb/A.m$

$$B = \frac{4 \pi \times 10^{-7} I}{2 \pi d} = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$$

فتصبح كثافة الفيض المغناطيسى فى الهواء :

### العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى

٢ معامل النفاذية المغناطيسية للوسط : (ثابت للوسط الواحد) تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسباً طردياً مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.

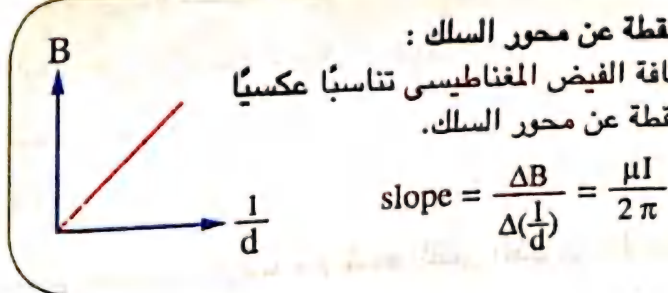


$$B = \mu \frac{I}{2 \pi d}$$

١ شدة التيار : تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسباً طردياً مع شدة التيار المار فى السلك.

$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu}{2 \pi d}$

٣ بُعد النقطة عن محور السلك : تتناسب كثافة الفيض المغناطيسى تناسباً عكسياً مع بُعد النقطة عن محور السلك.



## قاعدة اليد اليمنى لأمبير

### الاستخدام :



تحديد اتجاه خطوط الفيض للمجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم.

### نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

تخيل أنك تقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام لاتجاه التيار فإن اتجاه التفاف باقى الأصابع يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى.

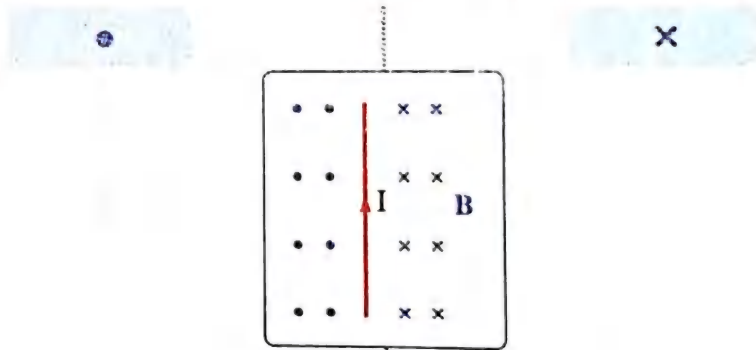
## ملاحظات

\* ينصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط الكهربى العالى،

**لتقليل** تأثير المجال المغناطيسى الضار على الصحة والبيئة حيث إن كثافة الفيض المغناطيسى تقل بزيادة البُعد عن مصدر التيار حيث  $(B \propto \frac{1}{d})$ .

\* عند تحديد اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك مستقيم عندما يكون السلك :

(١) فى مستوى الصفحة، تشير العلامة :



إلى أن خطوط الفيض المغناطيسى

عمودية على الصفحة وإلى الداخل عمودية على الصفحة وإلى الخارج

(٢) عمودى على مستوى الصفحة، تشير العلامة :



لخارج الصفحة

إلى أن اتجاه التيار

لداخل الصفحة

## مثال

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بُعد 10 cm من محور سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته 10 A (علماً بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

الحل

$$d = 0.1 \text{ m}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B = ?$$

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 10}{2 \pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$$

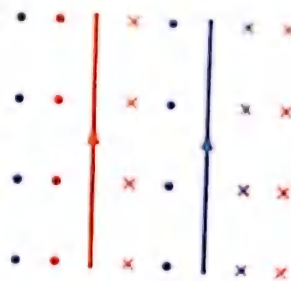
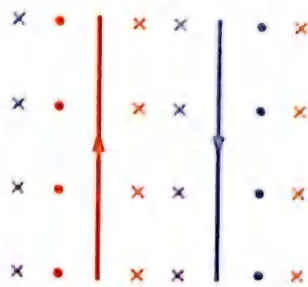
### كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيارين فى سلكين متوازيين

\* إذا كان التياران الماران فى السلكين :

فى اتجاهين متضادين

فى نفس الاتجاه

شكل المجال



**كثافة الفيض عند أى نقطة تقع بين السلكين**

- يكون اتجاه خطوط المجال بين السلكين فى نفس الاتجاه، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع بين السلكين :

$$B_t = B_1 + B_2$$

- يكون اتجاه خطوط المجال بين السلكين فى اتجاهين متضادين، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع بين السلكين :

$$B_t = B_1 - B_2 \quad (B_1 > B_2)$$

**كثافة الفيض عند أى نقطة تقع خارج السلكين**

- يكون اتجاه خطوط المجال خارج السلكين فى اتجاهين متضادين، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين :

$$B_t = B_1 - B_2 \quad (B_1 > B_2)$$

- يكون اتجاه خطوط المجال خارج السلكين فى نفس الاتجاه، فتكون محصلة كثافة الفيض عند نقطة تقع خارج المنطقة بين السلكين :

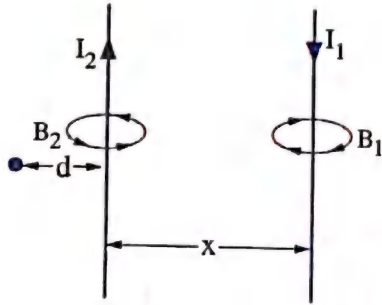
$$B_t = B_1 + B_2$$

### نقطة التعادل (نقطة تنعدم عندها كثافة الفيض المغناطيسي)

- تقع في المنطقة بين السلكين عندما تكون  $B_1 = B_2$  وبذلك تكون :  $B_t = B_1 - B_2 = 0$

- تقع خارج المنطقة بين السلكين عندما تكون  $B_1 = B_2$  وبذلك تكون :  $B_t = B_1 - B_2 = 0$

### ويمكن حساب بُعد نقطة التعادل كما يلي

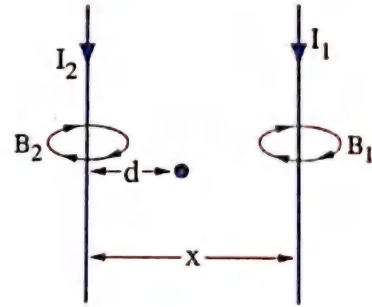


$$B_t = \text{zero}$$

$$B_1 = B_2$$

$$\mu \frac{I_1}{2 \pi (x + d)} = \mu \frac{I_2}{2 \pi d}$$

$$\frac{I_1}{x + d} = \frac{I_2}{d}$$



$$B_t = \text{zero}$$

$$B_1 = B_2$$

$$\mu \frac{I_1}{2 \pi (x - d)} = \mu \frac{I_2}{2 \pi d}$$

$$\frac{I_1}{x - d} = \frac{I_2}{d}$$

(حيث : (d) بُعد نقطة التعادل عن السلك ذي التيار الأقل)

### ما سبق نستنتج أن :

- إذا مر في سلكين تياران مختلفان تكون نقطة التعادل دائماً أقرب للسلك الذي يمر به تيار أقل.
- نقطة التعادل لسلكين متوازيين يمر بكل منهما تيار كهربى فى نفس الاتجاه تقع فى المنطقة بين السلكين، **لتولد** مجالين مغناطيسيين متضادين عند أى نقطة بين السلكين فتتكون نقطة التعادل فى المنطقة بين السلكين عندما يلاشى تأثير كل منهما تأثير الآخر.
- نقطة التعادل لسلكين متوازيين يمر بكل منهما تيار كهربى فى اتجاهين متضادين تقع خارج المنطقة بين السلكين، **لتولد** مجالين مغناطيسيين متضادين عند أى نقطة خارج المنطقة بين السلكين فتتكون نقطة التعادل خارج المنطقة بين السلكين عندما يلاشى تأثير كل منهما تأثير الآخر.

نقطة التعادل بين سلكين تقع في منتصف المسافة بينهما،

**عندما** يمر في السلكين نفس التيار وفي نفس الاتجاه.

لا تكون نقطة تعادل لسلكين عند مرور تيار كهربى فيهما إذا مر في السلكين تياران متساويان

ومتضادان في الاتجاه،

**لأن** عند أى نقطة خارج السلكين تكون كثافة الفيض الناشئة عن السلك الأول لا تساوى كثافة الفيض الناشئة عن السلك الثانى لاختلاف المسافة بين كل من السلكين وتلك النقطة.

### مثال ١

سلكان مستقيمان متوازيان وضعا في الهواء على بُعد 30 cm من بعضهما، يمر في أحدهما

تيار كهربى شدته 40 A ويمر في الثانى تيار كهربى شدته 20 A،

احسب كثافة الفيض المغناطيسى المتولد عند نقطة بينهما تبعد 20 cm عن السلك الأول

عندما يكون التياران الماران في السلكين :

(أ) في اتجاه واحد.

(ب) في اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

### الحل

$$I_1 = 40 \text{ A}$$

$$I_2 = 20 \text{ A}$$

$$x = 0.3 \text{ m}$$

$$d_1 = 0.2 \text{ m}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B_t = ?$$

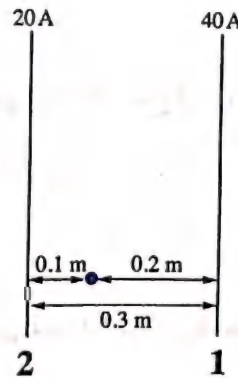
$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

$$B_1 = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 40}{2 \pi \times 0.2} = 4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_2 = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 20}{2 \pi \times 0.1} = 4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_t = B_1 - B_2 = 0$$

$$B_t = B_1 + B_2 = 8 \times 10^{-5} \text{ T}$$



(أ)

(ب)

سلكان مستقيمان متوازيان المسافة بينهما في الهواء  $0.3 \text{ m}$  يمر بأحدهما تيار شدته  $2 \text{ A}$  ويمر بالآخر تيار شدته  $3 \text{ A}$ ، احسب بُعد نقطة التعادل عن كل من السلكين في الحالتين الآتيتين :

(أ) إذا مر تياران في السلكين في نفس الاتجاه.

(ب) إذا مر تياران في السلكين في اتجاهين متضادين.

الحل

$$x = 0.3 \text{ m}$$

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = 3 \text{ A}$$

$$d_1 = ?$$

$$d_2 = ?$$

$$B_1 = B_2$$

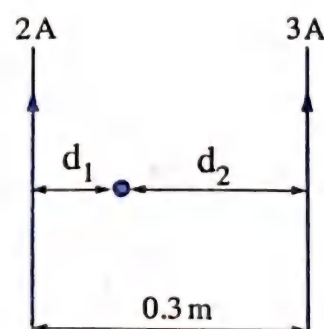
(أ)

$$\frac{I_1}{d_1} = \frac{I_2}{d_2}, \quad \frac{2}{d_1} = \frac{3}{0.3 - d_1}$$

$$3d_1 = 0.6 - 2d_1, \quad 5d_1 = 0.6$$

$$\therefore d_1 = 0.12 \text{ m}$$

$$\therefore d_2 = 0.3 - 0.12 = 0.18 \text{ m}$$



$\therefore$  نقطة التعادل على بُعد  $0.12 \text{ m}$  من السلك الأول و  $0.18 \text{ m}$  من السلك الثاني.

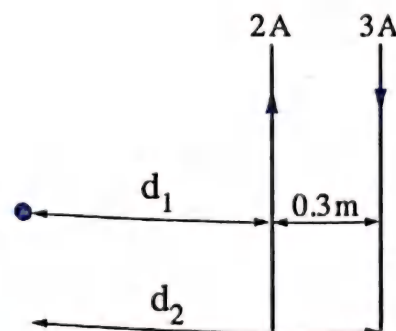
$$B_1 = B_2$$

(ب)

$$\frac{I_1}{d_1} = \frac{I_2}{d_2}, \quad \frac{2}{d_1} = \frac{3}{0.3 + d_1}$$

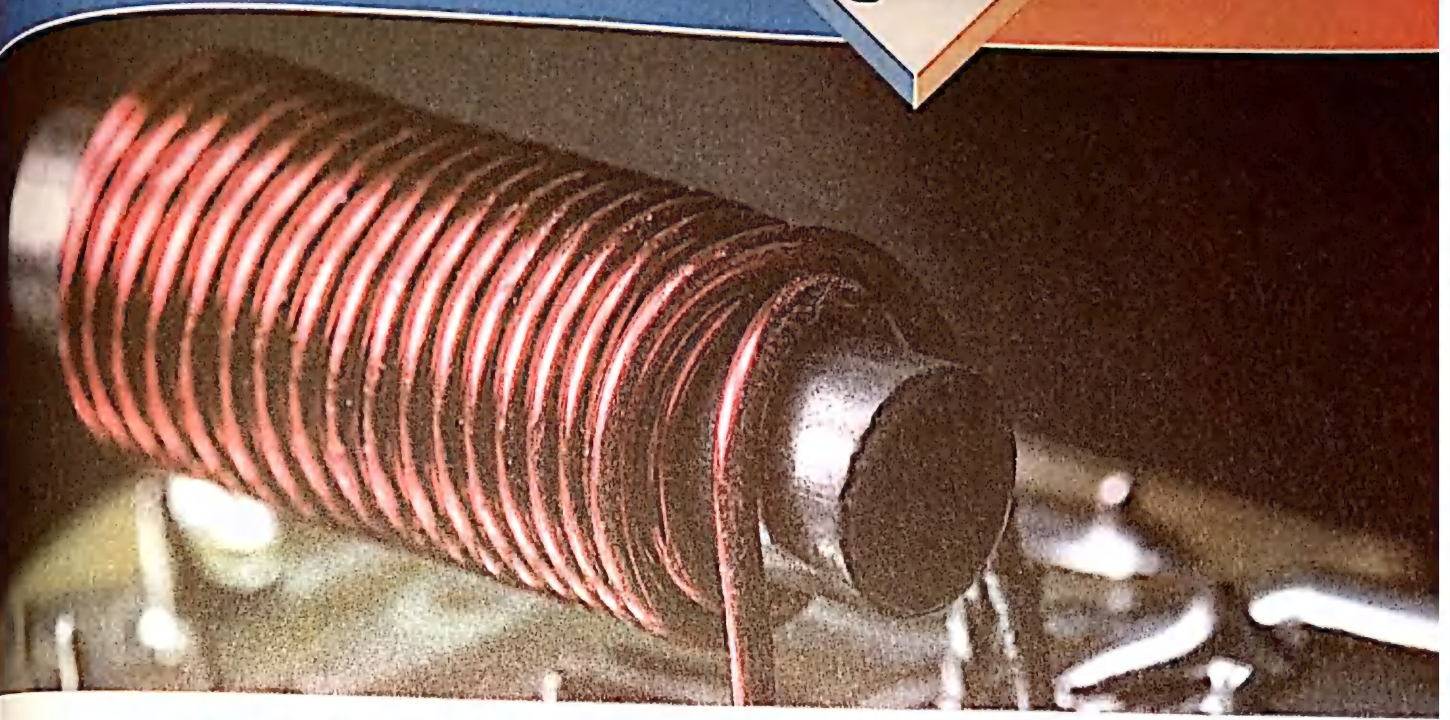
$$3d_1 = 0.6 + 2d_1, \quad d_1 = 0.6 \text{ m}$$

$$\therefore d_2 = 0.3 + 0.6 = 0.9 \text{ m}$$



$\therefore$  نقطة التعادل على بُعد  $0.6 \text{ m}$  من السلك الأول و  $0.9 \text{ m}$  من السلك الثاني.



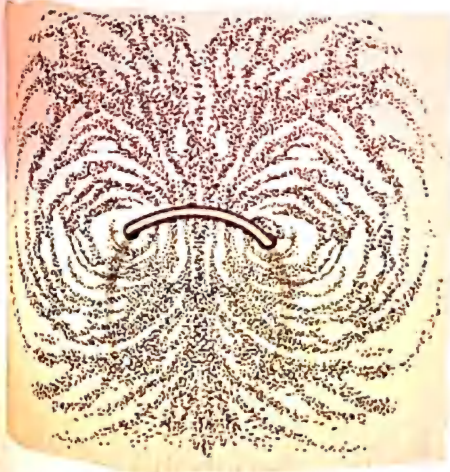


### ثانياً < المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى

\* عند مرور تيار كهربى فى ملف دائرى فإنه يسبب تولد مجال مغناطيسى داخل الملف وخارجه.

### < شكل وخواص خطوط الفيض المغناطيسى

\* لتعرف على شكل خطوط الفيض نجرى الخطوات الآتية :



١ انثر برادة حديد على لوح من الورق المقوى  
يخترقه ملف دائرى مستواه عمودى على اللوح  
ويمر به تيار كهربى.

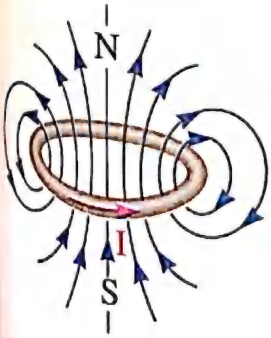
٢ اطرق لوح الورق المقوى طرقات خفيفة.

\* الملاحظة :

تترتب برادة الحديد على شكل دوائر تفقد دائريتها  
كلما اقتربت من محور الملف.

\* الاستنتاج :

١ ترتيب برادة الحديد يعبر عن شكل خطوط  
الفيض المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار  
كهربى فى الملف الدائرى.



- ٢ تفقد خطوط الفيض دائريتها (يقل انحناء خطوط الفيض) كلما اقتربت من محور الملف.
- ٣ خطوط الفيض المغناطيسي عند محور الملف الدائري خطوط مستقيمة متوازية وموازية لمحور الملف ومتعامدة على مستوى الملف.
- ٤ المجال المغناطيسي الناشئ عن ملف دائري يمر به تيار كهربى يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسى لقرص مصمت له قطبان مستديران (مغناطيس قصير).
- ٥ تختلف كثافة الفيض المغناطيسي من نقطة لأخرى.

### ملحوظة

\* لا يوجد فى الطبيعة أقطاب منفردة فدائماً يوجد لأى مغناطيس قطبان أحدهما شمالى والآخر جنوبى وبالتالي الملف الدائرى الذى يمر به تيار كهربى يكافئ ثنائى قطب مغناطيسى.

### حساب كثافة الفيض المغناطيسى

\* إذا مر تيار كهربى شدته  $I$  فى ملف دائرى نصف قطره  $r$  وعدد لفاته  $N$ ، فإن كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى :

- $B \propto I$  = تتناسب طردياً مع شدة التيار المار فى الملف :
- $B \propto N$  - تتناسب طردياً مع عدد لفات الملف :
- $B \propto \frac{1}{r}$  - تتناسب عكسياً مع نصف قطر الملف :

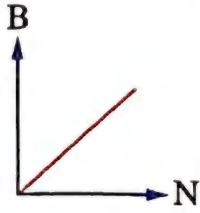
$$\therefore B \propto \frac{NI}{r} \quad \therefore B = \text{constant} \times \frac{NI}{r}$$

$$\therefore B = \mu \frac{NI}{2r}$$

## العوامل التي تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسي

عدد لفات الملف :

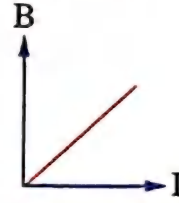
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta N} = \frac{\mu I}{2r}$$

شدة التيار :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع شدة التيار المار في الملف.



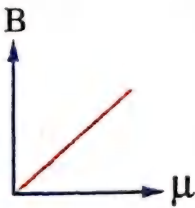
$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta I} = \frac{\mu N}{2r}$$

$$B = \mu \frac{NI}{2r}$$

معامل النفاذية المغناطيسية للوسط :

(ثابت للوسط الواحد)

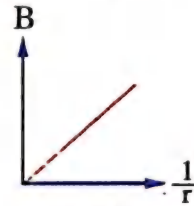
تتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً طردياً مع معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.



$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta \mu} = \frac{NI}{2r}$$

نصف قطر الملف :

تتناسب كثافة الفيض المغناطيسي تناسباً عكسياً مع نصف قطر الملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta B}{\Delta (1/r)} = \frac{\mu NI}{2}$$

## تحديد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي

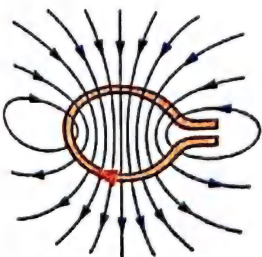
### قاعدة البريمة اليمنى

الاستخدام :

تحديد اتجاه المجال (خطوط الفيض) المغناطيسي عند مركز ملف دائري يمر به تيار كهربى.

لص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

عند دوران بريمة باليد اليمنى عند مركز الملف بحيث يشير اتجاه دورانها لاتجاه التيار في الملف فإن اتجاه اندفاعها يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى عند مركز الملف.



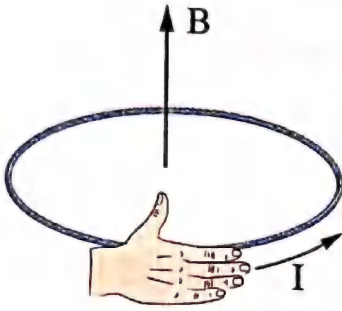
## ٢ قاعدة اليد اليمنى لأمبير

### الاستخدام :

تحديد اتجاه المجال (خطوط الفيض) المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف دائرى.

### نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

إذا كان اتجاه أصابع اليد اليمنى (ماعد الإبهام) يشير إلى اتجاه التيار فإن الإبهام يشير إلى اتجاه الفيض المغناطيسى.



## ٣ قاعدة اتجاه حركة عقارب الساعة

### الاستخدام :

تحديد نوع القطب فى كل من وجهى ملف دائرى يمر به تيار كهربى.

### نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

إذا كان اتجاه التيار فى أحد وجهى الملف :

فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة

يكون هذا الوجه قطباً شمالياً



فى نفس اتجاه حركة عقارب الساعة

يكون هذا الوجه قطباً جنوبياً



ويكون اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى بحيث تخرج من القطب الشمالى وتدخل إلى القطب الجنوبى خارج الملف

## مثال

احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره 11 cm وعدد لفاته 20 لفه، ويمر به تيار كهربى شدته 1.4 A (علماً بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

### الحل

$$r = 0.11 \text{ m}$$

$$N = 20$$

$$I = 1.4 \text{ A}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B = ?$$

$$B = \frac{\mu N I}{2 r} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11} = 1.6 \times 10^{-4} \text{ T}$$

## إرشاد

\* حساب عدد لفات الملف (N) :

- إذا تم لف سلك طوله  $l$  على شكل ملف دائري نصف قطره  $r$ ، فإن :

$$N = \frac{\text{طول السلك}}{\text{محيط اللفة الواحدة}} = \frac{l}{2\pi r}$$

حيث : (N) قد يكون عدد صحيح أو غير صحيح.

- إذا كان الملف جزء من دائرة، فإن :

$$N = \frac{\theta}{360}$$



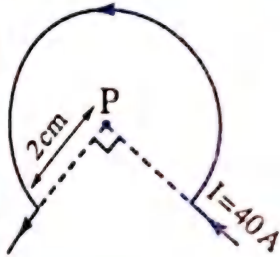
حيث : ( $\theta$ ) الزاوية المركزية المواجهة لسلك الملف.

## مثال

من الشكل المقابل، أوجد

كثافة الفيض المغناطيسي عند النقطة P

(علمًا بأن :  $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )



الحل

$$I = 40 \text{ A}$$

$$r = 2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B = ?$$

$$\theta = 360 - 90 = 270^\circ$$

$$N = \frac{\theta}{360} = \frac{270}{360} = 0.75 \text{ لفة}$$

$$B = \mu \frac{NI}{2r} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{0.75 \times 40}{2 \times 2 \times 10^{-2}} = 9.43 \times 10^{-4} \text{ T}$$

## إرشاد

\* في حالة إعادة تشكيل ملف دائري عدد لفاته  $N_1$  ليصبح  $N_2$  ثم توصيله بنفس المصدر :

∴ طول السلك ثابت.

$$\therefore 2\pi r_1 N_1 = 2\pi r_2 N_2$$

$$\therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{N_1 r_2}{N_2 r_1} = \frac{N_1^2}{N_2^2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

## مثال

تيار كهربى شدته  $I$  يمر فى ملف دائرى مكون من ثلاث لفات فكانت كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف  $1.2 \times 10^{-4} \text{ T}$ ، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف إذا أُعيد لف الملف ليصبح مكون من ست لفات بحيث يمر به نفس شدة التيار.

الحل

$$N_1 = 3$$

$$B_1 = 1.2 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$N_2 = 6$$

$$B_2 = ?$$

∴ طول سلك الملف ثابت.

$$\therefore 2 \pi r_1 N_1 = 2 \pi r_2 N_2$$

$$\therefore \frac{N_1}{N_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{N_1 r_2}{N_2 r_1} = \frac{N_1^2}{N_2^2}$$

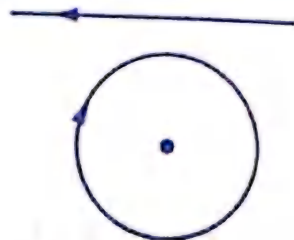
$$\frac{1.2 \times 10^{-4}}{B_2} = \frac{(3)^2}{(6)^2}$$

$$B_2 = 4.8 \times 10^{-4} \text{ T}$$

## إرشاد

لتعيين محصلة كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى موضوع على بُعد معين من سلك مستقيم وفى نفس مستواه ويمر بكل منهما تيار كهربى مستمر إذا كان مجال كل من السلك والملف :

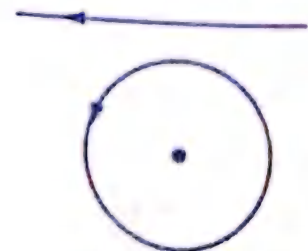
فى اتجاهين متضادين



$$B_t = B_{(\text{ملف})} - B_{(\text{سلك})} \quad (B_{(\text{ملف})} > B_{(\text{سلك})})$$

$$B_t = B_{(\text{سلك})} - B_{(\text{ملف})} \quad (B_{(\text{سلك})} > B_{(\text{ملف})})$$

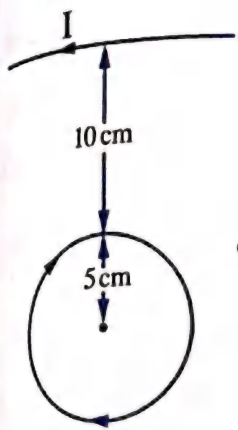
فى نفس الاتجاه



$$B_t = B_{(\text{ملف})} + B_{(\text{سلك})}$$

فإن

## مثال



ملف دائري عدد لفاته 3 لفات ونصف قطره 5 cm يمر به تيار 1 A يوجد على بُعد 10 cm منه سلك مستقيم طويل في نفس المستوى يمر به تيار كهربى كما بالشكل، احسب :

(أ) شدة التيار المار في السلك التى تجعل كثافة الفيض عند مركز الملف الدائرى تنعدم.

(ب) قيمة كثافة الفيض عند مركز الملف إذا عكس اتجاه التيار المار في السلك.

(علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$N = 3$$

$$r = 5 \text{ cm}$$

$$I_{(\text{ملف})} = 1 \text{ A}$$

$$d = 15 \text{ cm}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$I_{(\text{سلك})} = ?$$

$$B_t = ?$$

$$\therefore B_t = 0$$

(1)

$$\therefore B_{(\text{ملف})} = B_{(\text{سلك})}$$

$$\mu \frac{NI_{(\text{ملف})}}{2r} = \mu \frac{I_{(\text{سلك})}}{2\pi d}$$

$$\frac{3 \times 1}{5} = \frac{I_{(\text{سلك})}}{\pi \times 15}$$

$$\therefore I_{(\text{سلك})} = 28.29 \text{ A}$$

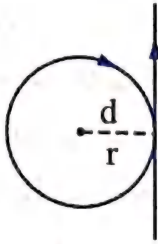
$$B_t = B_{(\text{ملف})} + B_{(\text{سلك})}$$

(ب)

$$= \mu \frac{NI_{(\text{ملف})}}{2r} + \mu \frac{I_{(\text{سلك})}}{2\pi d} = 2 \pi \times 10^{-7} \left( \frac{3 \times 1}{5 \times 10^{-2}} + \frac{28.29}{\pi \times 15 \times 10^{-2}} \right)$$

$$= 7.54 \times 10^{-5} \text{ T}$$

\* فى حالة ملف دائرى يمس سلك مستقيم وفى نفس مستواه بحيث تنعدم كثافة الفيض عند المركز :



$$B_{\text{(ملف)}} = B_{\text{(سلك)}}$$

$$\frac{\mu N I_{\text{(ملف)}}}{2 r} = \frac{\mu I_{\text{(سلك)}}}{2 \pi d}, \quad r = d$$

$$N I_{\text{(ملف)}} = \frac{I_{\text{(سلك)}}}{\pi}$$

### مثال ١

وضع سلك مستقيم رأسياً بحيث يكون مماساً لملف دائرى مكون من لفة واحدة وفى نفس مستواه، ثم وضع عند مركز الملف إبرة مغناطيسية حرة الحركة فى مستوى أفقى، احسب شدة التيار الكهربى الذى إذا مر فى السلك لا يسبب أى انحراف للإبرة عندما يمر فى الملف الدائرى تيار شدته 0.21 A

### الحل

$$I_{\text{(ملف)}} = 0.21 \text{ A} \quad N = 1 \quad I_{\text{(سلك)}} = ?$$

\* لا تنحرف الإبرة المغناطيسية عندما تكون محصلة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف والسلك مساوية للصفر :

$$B_{\text{(سلك)}} = B_{\text{(ملف)}}$$

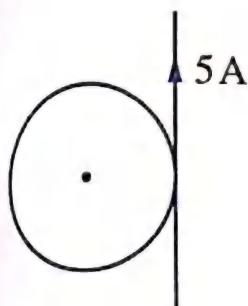
$$\mu \frac{I_{\text{(سلك)}}}{2 \pi d} = \mu \frac{N I_{\text{(ملف)}}}{2 r}$$

$$\frac{I_{\text{(سلك)}}}{\pi} = N I_{\text{(ملف)}}$$

$$\frac{I_{\text{(سلك)}} \times 7}{22} = 1 \times 0.21$$

$$I_{\text{(سلك)}} = 0.66 \text{ A}$$

## مثال ٢



في الشكل المقابل ملف دائري مكون من لفة واحدة نصف قطره 5 cm ويمر به تيار شدته 3 A وضع ملامسًا لسلك مستقيم يمر به تيار شدته 5 A، احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند مركز الملف الدائري إذا كان اتجاه التيار المار فيه :

(أ) في عكس اتجاه عقارب الساعة.

(ب) في اتجاه عقارب الساعة.

(علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$N = 1$$

$$I_{(\text{ملف})} = 3 \text{ A}$$

$$I_{(\text{سلك})} = 5 \text{ A}$$

$$r = d = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B_t = ?$$

$$B_{(\text{ملف})} = \mu \frac{NI_{(\text{ملف})}}{2r} = 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{1 \times 3}{2 \times 5 \times 10^{-2}} = 3.77 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_{(\text{سلك})} = \mu \frac{I_{(\text{سلك})}}{2 \pi d} = 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{5}{2 \pi \times 5 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$$

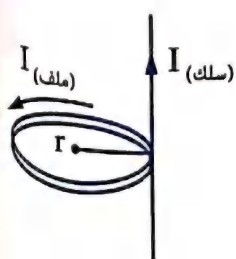
$$B_t = B_{(\text{ملف})} + B_{(\text{سلك})} = (3.77 \times 10^{-5}) + (2 \times 10^{-5})$$

$$= 5.77 \times 10^{-5} \text{ T} \quad (أ)$$

$$B_t = B_{(\text{ملف})} - B_{(\text{سلك})} = (3.77 \times 10^{-5}) - (2 \times 10^{-5})$$

$$= 1.77 \times 10^{-5} \text{ T} \quad (ب)$$

## إرشاد



\* في حالة ملف دائري يمس سلك مستقيم بحيث يكون السلك موازي لمحور الملف الدائري (أو السلك عمودي على مستوى الملف الدائري) ويمر بكل منهما تيار كهربى يكون المجال المغناطيسى لكل من السلك والملف متعامدين عند مركز الملف وتكون كثافة الفيض المحصلة عند مركز الملف الدائري :

$$B_t = \sqrt{B_{(\text{سلك})}^2 + B_{(\text{ملف})}^2}$$

وضع سلك مستقيم رأسياً بحيث يكون مماساً لملف دائري يتكون من لفة واحدة وموازياً لمحور الملف، فإذا مر تيار كهربى فى كل من السلك والملف شدته على الترتيب  $5\text{ A}$  ،  $20\text{ A}$  ، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف علماً بأن نصف قطر الملف  $20\text{ cm}$  (علماً بأن :  $\mu = 4\pi \times 10^{-7}\text{ Wb/A.m}$ )

الحل

$$N = 1 \quad I_{(\text{سلك})} = 20\text{ A} \quad I_{(\text{ملف})} = 5\text{ A} \quad r = d = 20 \times 10^{-2}\text{ m}$$

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7}\text{ Wb/A.m} \quad B_t = ?$$

$$B_{(\text{سلك})} = \frac{\mu I_{(\text{سلك})}}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 20}{2\pi \times 20 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}\text{ T}$$

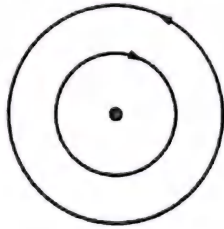
$$B_{(\text{ملف})} = \frac{\mu N I_{(\text{ملف})}}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 5}{2 \times 20 \times 10^{-2}} = 1.57 \times 10^{-5}\text{ T}$$

$$B_t = \sqrt{B_{(\text{سلك})}^2 + B_{(\text{ملف})}^2} = \sqrt{(2 \times 10^{-5})^2 + (1.57 \times 10^{-5})^2} \\ = 2.54 \times 10^{-5}\text{ T}$$

إرشاد

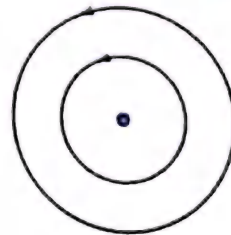
\* فى حالة ملفين دائريين لهما مركز مشترك وفى نفس المستوى ويحملان تيارين :

فى اتجاهين متضادين



$$B_t = B_1 - B_2 \\ (\text{بفرض أن } B_1 > B_2)$$

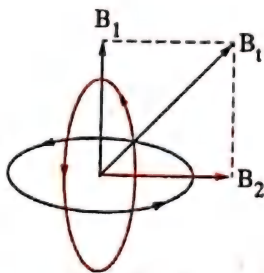
فى نفس الاتجاه



$$B_t = B_1 + B_2$$

فإن

\* فى حالة ملفين دائريين لهما مركز مشترك ومتعامدين :



$$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

## مثال

ملفان دائريان متحدان المركز ولهما نفس المستوى، الملف الأول نصف قطره 40 cm وعدد لفاته 300 لفه ويمر به تيار شدته 10 A والملف الثانى نصف قطره 30 cm وعدد لفاته 400 لفه ويمر به تيار شدته 6 A فى نفس اتجاه الأول، أوجد كثافة الفيض المغناطيسى

الكلى عند :

- (أ) مركز الملفين.  
 (ب) المركز المشترك عندما يدور أحد الملفين بحيث يصبح مستويا الملفين متعامدين.  
 (علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$r_1 = 0.4 \text{ m}$$

$$N_1 = 300$$

$$I_1 = 10 \text{ A}$$

$$r_2 = 0.3 \text{ m}$$

$$N_2 = 400$$

$$I_2 = 6 \text{ A}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B_t = ?$$

$$B_1 = \mu \frac{N_1 I_1}{2 r_1} = 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{300 \times 10}{2 \times 0.4} = 4.71 \times 10^{-3} \text{ T}$$

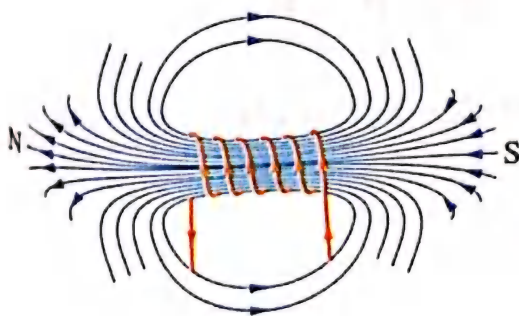
$$B_2 = \mu \frac{N_2 I_2}{2 r_2} = 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{400 \times 6}{2 \times 0.3} = 5.03 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$B_t = B_1 + B_2 = (4.71 + 5.03) \times 10^{-3} = 9.74 \times 10^{-3} \text{ T} \quad (أ)$$

$$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(4.71 \times 10^{-3})^2 + (5.03 \times 10^{-3})^2} = 6.89 \times 10^{-3} \text{ T} \quad (ب)$$

## ثالثاً المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى ملف لولبى (حلزونى)

## شكل خطوط الفيض المغناطيسى



- \* عندما يمر تيار كهربى فى ملف لولبى يتولد مجال مغناطيسى يشبه إلى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.
- \* تمثل خطوط الفيض مسارات متصلة داخل وخارج الملف،

أى أنه : كل خط بمثابة مسار مغلق.



## حساب كثافة الفيض المغناطيسي

\* عند مرور تيار كهربى شدته  $I$  فى ملف لولبى طوله  $l$  وعدد لفاته  $N$ ، فإن كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على محور الملف اللولبى :

$$B \propto I$$

- تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربى المار فى الملف اللولبى :

$$B \propto N$$

- تتناسب طردياً مع عدد لفات الملف اللولبى :

$$B \propto \frac{1}{l}$$

- تتناسب عكسياً مع طول الملف اللولبى :

$$\therefore B \propto \frac{NI}{l}$$

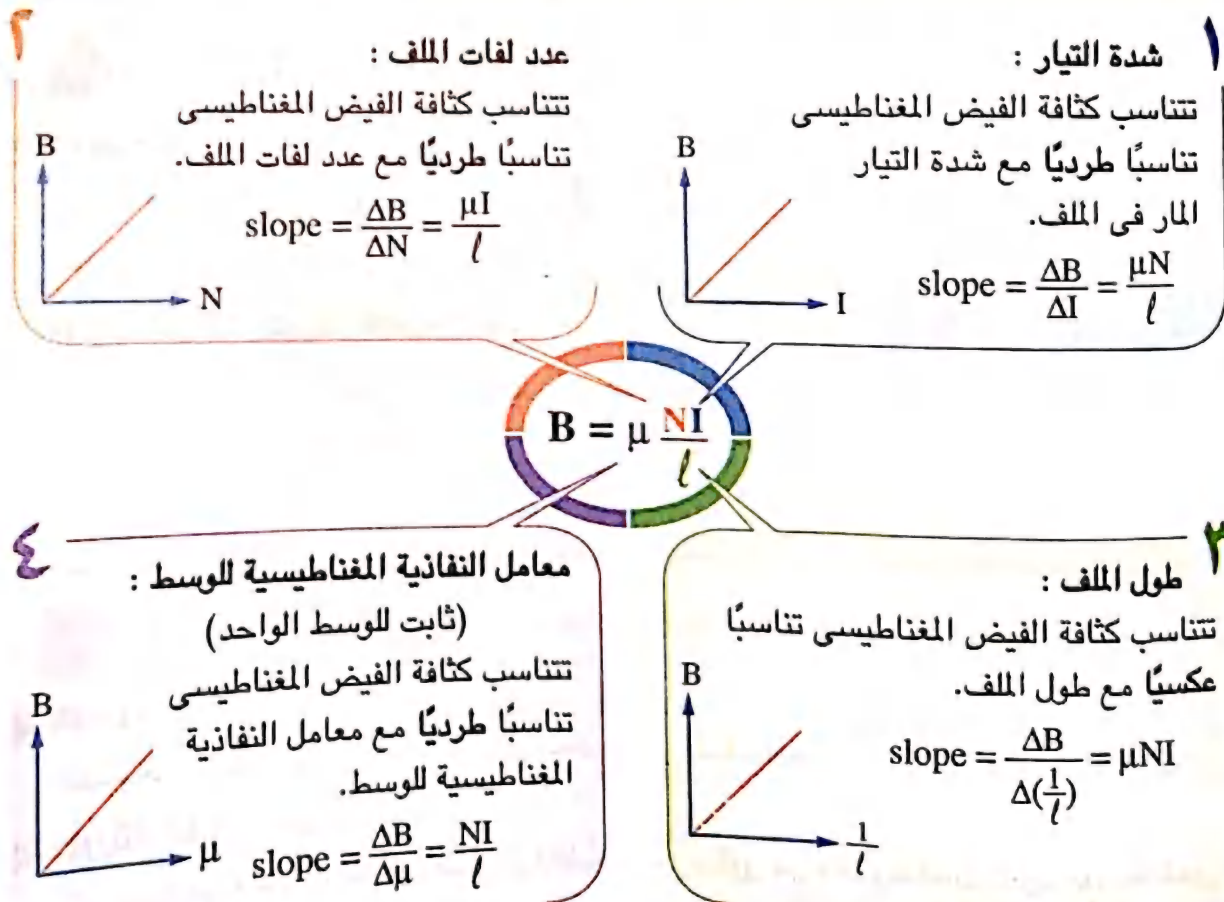
$$\therefore B = \text{constant} \times \frac{NI}{l}$$

$$\therefore B = \mu \frac{NI}{l} = \mu n I$$

$$n = \frac{N}{l}$$

حيث : (n) عدد اللفات لوحدة الأطوال من الملف وتنعين من العلاقة :

## العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى



## ملاحظات

\* عند وضع ساق حديدية داخل ملف لولبي يمر به تيار كهربى تزداد كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على محور الملف،

**لأن** معامل النفاذية المغناطيسية للحديد أكبر من معامل النفاذية المغناطيسية للهواء.

\* قد لا يتولد مجال مغناطيسى نتيجة مرور التيار فى ملف دائرى أو لولبى،

**لأن** الملف الدائرى أو اللولبى قد يكون ملفوف لفاً مزدوجاً



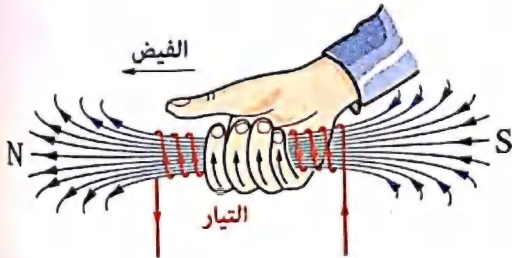
فيصبح الفيض المغناطيسى الناتج عن مرور التيار فى اتجاه عكس الفيض المغناطيسى الناتج عن مرور نفس التيار فى الاتجاه المضاد فيلاشى تأثير كل منهما الآخر.

## تحديد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى

## ١ قاعدة أمبير لليد اليمنى

## الاستخدام :

تحديد اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ داخل ملف لولبى يمر به تيار كهربى.



## نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

تخيل أنك تقبض على الملف باليد اليمنى بحيث يشير اتجاه التقاف أصابع اليد إلى اتجاه التيار فيشير الإبهام لاتجاه خطوط الفيض داخل الملف.

## ٢ قاعدة البريمة اليمنى

## الاستخدام :

تحديد اتجاه الفيض المغناطيسى عند محور ملف لولبى (حلزونى) يمر به تيار كهربى.

## طريقة الاستخدام :

كما سبق فى الملف الدائرى باعتبار أن الملف اللولبى يتكون من مجموعة لفات دائرية متحدة المحور.



### ٣ قاعدة اتجاه حركة عقارب الساعة

الاستخدام :

تحديد نوع القطب في كل من وجهي ملف لولبي يمر به تيار كهربى.

طريقة الاستخدام :

كما سبق في الملف الدائرى.

### مثال ١

ملف لولبى طوله 20 cm يتكون من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وتقع عند منتصف محوره.  
(علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

الحل

$$l = 0.2 \text{ m}$$

$$N = 800$$

$$I = 0.7 \text{ A}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B = ?$$

$$B = \mu \frac{NI}{l} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{0.2} = 3.52 \times 10^{-3} \text{ T}$$

### مثال ٢

احسب شدة التيار الكهربى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى فى ملف يتكون من 800 لفة وطوله 20 cm تساوى 0.815 T فى حالة وجود قلب من الحديد داخله.  
(علمًا بأن : النفاذية المغناطيسية للحديد  $1.63 \times 10^{-2} \text{ Wb/A.m}$ )

الحل

$$N = 800$$

$$l = 0.2 \text{ m}$$

$$B = 0.815 \text{ T}$$

$$\mu = 1.63 \times 10^{-2} \text{ Wb/A.m}$$

$$I = ?$$

$$B = \mu \frac{NI}{l}$$

$$I = \frac{Bl}{\mu N} = \frac{0.815 \times 0.2}{1.63 \times 10^{-2} \times 800} = 0.0125 \text{ A} = 12.5 \text{ mA}$$

### إرشاد

$$l = N \times 2r$$

\* إذا كانت لفات الملف متماسة معًا، فإن طول الملف :

حيث : ( $r$ ) نصف قطر سلك الملف.

مثال

سلك معزول نصف قطره 0.3 cm لف حول قلب من الحديد المطاوع نفاذيته المغناطيسية  $2 \times 10^{-3} \text{ Wb/A.m}$  بحيث تكون اللفات متماسة معاً على طول القلب الحديدي، احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند منتصف محور الملف علماً بأن شدة التيار المار في الملف 10 A .

الحل

$$r = 0.3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\mu = 2 \times 10^{-3} \text{ Wb/A.m}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

$$B = ?$$

∴ اللفات متماسة.

$$\therefore l = 2 N r$$

$$B = \frac{\mu N I}{l} = \frac{\mu N I}{2 N r} = \frac{\mu I}{2 r} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 10}{2 \times 0.3 \times 10^{-2}} = 3.33 \text{ T}$$

إرشاد

\* إذا تم قطع جزء من ملف كان متصل بمصدر جهد ثم أعيد توصيل الجزء المتبقى من اللفات بنفس المصدر مع الاحتفاظ بالمسافة بين اللفات ثابتة، فإن :

شدة التيار المار في الملف (I)

تزداد لأن طول سلك الملف يقل وتبعاً للعلاقة  $(R = \frac{\rho_e l}{A})$  فإن مقاومة الملف تقل، وحيث إن فرق الجهد بين طرفي المصدر ثابت وتبعاً للعلاقة  $(I = \frac{V}{R})$ ، فإن شدة التيار تزداد،

$$I \propto \frac{1}{R} \propto \frac{1}{l}$$

أي أنه :

$$\therefore B = \mu n I$$

∴ كل من  $\mu$  ،  $n$  ثابت

$$\therefore B \propto I \propto \frac{1}{l}$$

عدد اللفات لوحدة الأطوال (n)

يظل ثابت لأن كل من عدد لفات الملف وطول الملف يقل بنفس النسبة.

$$\therefore \frac{N_1}{l_1} = \frac{N_2}{l_2}$$

$$\therefore n_1 = n_2$$

## مثال

ملف لولبي طوله 44 cm وعدد لفاته 21 لفة يمر به تيار كهربى شدته 1 A ، فإذا قُطع ثلث الملف ووصل الباقي بنفس البطارية، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى عند منتصف محور الملف فى هذه الحالة (علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$l_1 = 44 \text{ cm} \quad N_1 = 21 \quad I_1 = 1 \text{ A} \quad l_2 = \frac{2}{3} l_1$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m} \quad B_2 = ?$$

$$B_1 = \frac{\mu N I}{l} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 21 \times 1}{44 \times 10^{-2}} = 6 \times 10^{-5} \text{ T}$$

∴ كل من عدد لفات الملف وطول الملف قل بنفس النسبة.

$$\therefore \frac{N_1}{l_1} = \frac{N_2}{l_2}$$

$$\therefore R = \frac{\rho_c l}{A}$$

$$\therefore \frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{l_1}{\frac{2}{3} l_1} = \frac{3}{2}$$

$$\therefore I = \frac{V}{R} \quad , \quad V_1 = V_2$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore B = \mu n I$$

$$\therefore \frac{B_1}{B_2} = \frac{I_1}{I_2}$$

$$\therefore \frac{6 \times 10^{-5}}{B_2} = \frac{2}{3}$$

$$\therefore B_2 = 9 \times 10^{-5} \text{ T}$$

## إرشاد

\* محصلة كثافة الفيض عند منتصف المحور فى حالة ملفين لهما محور مشترك ويحملان تيارين :

فى اتجاهين متضادين

$$B_t = B_1 - B_2 \quad (B_1 > B_2)$$

فى نفس الاتجاه

$$B_t = B_1 + B_2$$

## مثال ١

ملفان لولبيان أحدهما داخل الآخر لهما محور مشترك، تحتوى وحدة الأطوال من الملف الداخلى على 10 لفات ومن الملف الخارجى على 20 لفة فإذا كان تيار الملف الداخلى 2 A والخارجى 4 A، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخلهما على المحور المشترك

عندما يكون التياران :

(أ) فى نفس الاتجاه.

(ب) فى اتجاهين متضادين.

(علماً بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$n_1 = 10 \text{ turn/m}$$

$$n_2 = 20 \text{ turn/m}$$

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_2 = 4 \text{ A}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B_t = ?$$

$$B_1 = \mu n_1 I_1 = 4 \pi \times 10^{-7} \times 10 \times 2 = 25.14 \times 10^{-6} \text{ T}$$

$$B_2 = \mu n_2 I_2 = 4 \pi \times 10^{-7} \times 20 \times 4 = 100.57 \times 10^{-6} \text{ T}$$

$$B_t = B_1 + B_2 = 125.71 \times 10^{-6} \text{ T}$$

(أ)

$$B_t = B_2 - B_1 = 75.43 \times 10^{-6} \text{ T}$$

(ب)

## مثال ٢

ملف حلزوني طوله 50 cm وعدد لفاته 100 لفة يمر به تيار 2 A وضع عند منتصفه تماماً ملف دائرى عدد لفاته 20 لفة ونصف قطره 15 cm ويمر به تيار 1 A بحيث ينطبق محور الملف الدائرى على محور الملف الحلزوني، احسب كثافة الفيض عند المركز المشترك إذا كان التياران :

(أ) فى نفس الاتجاه.

(ب) فى اتجاهين متضادين.

(علماً بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$l_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$N_1 = 100$$

$$I_1 = 2 \text{ A}$$

$$N_2 = 20$$

$$I_2 = 1 \text{ A}$$

$$r_2 = 0.15 \text{ m}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$B_t = ?$$



$$B_{\text{(حلزوني)}} = \mu \frac{N_1 I_1}{l_1}$$

$$= 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{100 \times 2}{0.5}$$

$$= 5.03 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_{\text{(دائري)}} = \mu \frac{N_2 I_2}{2 r_2}$$

$$= 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{20 \times 1}{2 \times 0.15}$$

$$= 8.38 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_t = B_{\text{(حلزوني)}} + B_{\text{(دائري)}} \quad (1)$$

$$= (5.03 \times 10^{-4}) + (8.38 \times 10^{-5})$$

$$= 5.868 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$B_t = B_{\text{(حلزوني)}} - B_{\text{(دائري)}} \quad (ب)$$

$$= (5.03 \times 10^{-4}) - (8.38 \times 10^{-5})$$

$$= 4.192 \times 10^{-4} \text{ T}$$

### إرشاد

\* عند إبعاد لفات الملف الدائري عن بعضها بانتظام يصبح ملف لولبي له نفس عدد لفات الملف الدائري ويمر به نفس التيار المار في الملف الدائري ويمكن المقارنة بينهما طبقاً للعلاقة :

$$\frac{B_{\text{(دائري)}}}{B_{\text{(لولبي)}}} = \frac{l_{\text{(لولبي)}}}{2 r_{\text{(دائري)}}}$$

### مثال

ملف دائري نصف قطره 5 cm يمر فيه تيار يولد مجاًلاً مغناطيسياً كثافة فيضه  $3 \times 10^{-2} \text{ T}$  فإذا أبعدت لفات الملف عن بعضها بانتظام حتى أصبح طوله 30 cm، احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة تقع عند منتصف محوره.

### الحل

$r_{\text{(دائري)}} = 5 \text{ cm}$	$B_{\text{(دائري)}} = 3 \times 10^{-2} \text{ T}$	$l_{\text{(لولبي)}} = 30 \text{ cm}$	$B_{\text{(لولبي)}} = ?$
-------------------------------------	---	--------------------------------------	--------------------------

$$\frac{B_{(دائري)}}{B_{(لولبي)}} = \frac{l_{(لولبي)}}{2 r_{(دائري)}} \quad , \quad \frac{3 \times 10^{-2}}{B_{(لولبي)}} = \frac{30}{2 \times 5}$$

$$B_{(لولبي)} = 10^{-2} \text{ T}$$

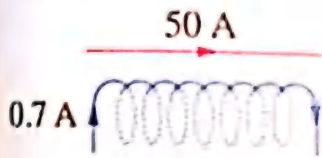
### إرشاد

\* في حالة وضع سلك مستقيم عمودياً على (أو موازياً لـ) محور ملف لولبي يحمل كل منهما تياراً (المجالان متعامدان) فإن محصلة كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة تقع على محور الملف

$$B_t = \sqrt{B_{(سك)}^2 + B_{(لولبي)}^2}$$

اللولبي وتبعد مسافة معينة عن السلك المستقيم :

### مثال



في الشكل المقابل سلك مستقيم موازى لمحور ملف لولبي ويبعد مسافة 20 cm عن محور الملف ويمر بكل منهما تيار كهربى فإذا كان عدد لفات الملف اللولبي فى وحدة الأطوال 100 لفة،

احسب محصلة كثافة الفيض عند منتصف محور الملف.

(علماً بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

### الحل

$$I_{(سك)} = 50 \text{ A} \quad I_{(لولبي)} = 0.7 \text{ A} \quad d = 20 \times 10^{-2} \text{ m} \quad n = 100 \text{ turn/m}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m} \quad B_t = ?$$

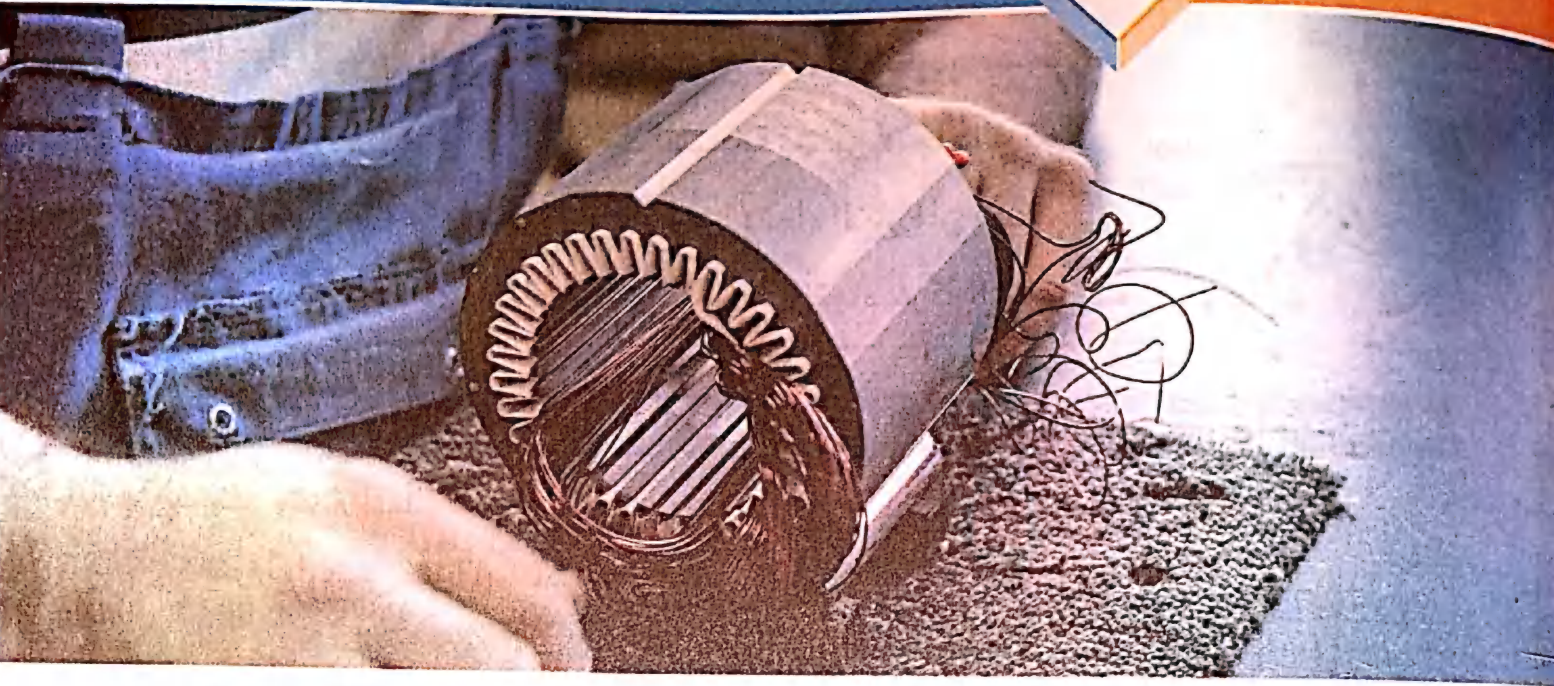
$$B_{(سك)} = \frac{\mu I_{(سك)}}{2 \pi d} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 50}{2 \pi \times 20 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_{(لولبي)} = \mu n I_{(لولبي)} = 4 \pi \times 10^{-7} \times 100 \times 0.7 = 8.8 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$B_t = \sqrt{B_{(سك)}^2 + B_{(لولبي)}^2} = \sqrt{(5 \times 10^{-5})^2 + (8.8 \times 10^{-5})^2}$$

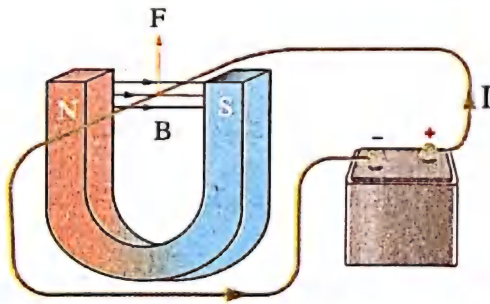
$$= 1.01 \times 10^{-4} \text{ T}$$



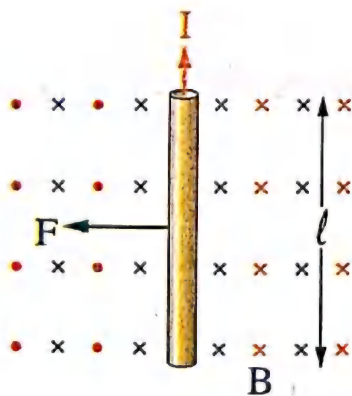


**القوة التي يؤثر بها مجال مغناطيسي على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال**

\* عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى مجال مغناطيسى منتظم بحيث يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى تنشأ قوة مغناطيسية تؤثر على السلك (تكون عمودية على اتجاه التيار الكهربى وعلى اتجاه المجال)،



**الاختلاف** محصلة كثافة الفيض المغناطيسى على جانبي السلك والناشئة عن الفيض المغناطيسى الأسمى والفيض المغناطيسى الناتج عن مرور تيار كهربى بالسلك.



\* إذا كان السلك حر الحركة تؤدي هذه القوة إلى حركة السلك من الموضع الأعلى فى كثافة الفيض المغناطيسى إلى الموضع الأقل فى كثافة الفيض المغناطيسى، ويمكن تحديد اتجاه هذه القوة باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.

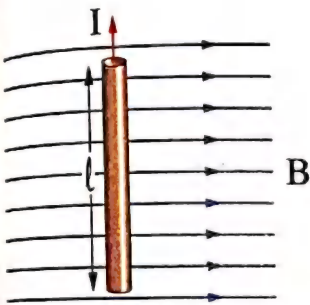
## قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :



اجعل الإبهام والسبابة فى اليد اليسرى متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع فإذا كانت السبابة تشير لاتجاه الفيض وباقى الأصابع (ماعدا الإبهام) تشير لاتجاه التيار فإن الإبهام يشير لاتجاه القوة المغناطيسية وبالتالي إلى اتجاه حركة السلك.

## حساب القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى فيض مغناطيسى

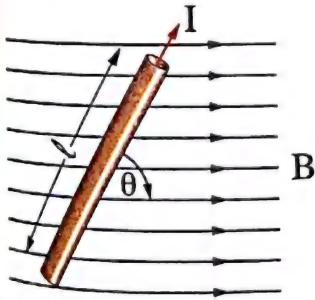


\* عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى شدته  $I$  عمودياً على مجال مغناطيسى كثافة فيضه  $B$  وطول الجزء المعرض من السلك للفيض  $l$  فإنه يتأثر بقوة مغناطيسية  $F$

حيث :

$$F \propto B \quad , \quad F \propto I \quad , \quad F \propto l$$

$$\therefore F \propto BIl \quad \therefore F = \text{constant} \times BIl$$



وإذا اتُخذت وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسى ( $B$ ) التسلا ( $T$ ) ووحدة قياس القوة النيوتن ( $N$ ) ووحدة قياس شدة التيار الأمبير ( $A$ ) ووحدة قياس الطول المتر ( $m$ ) فإن المقدار الثابت يساوى الواحد الصحيح.

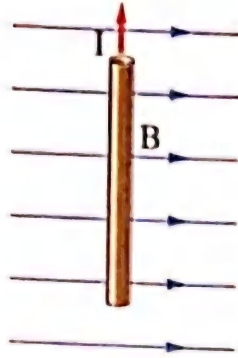
$$\therefore F = BIl$$

وإذا كان السلك يصنع زاوية  $\theta$  مع الفيض تصبح العلاقة :

$$F = BIl \sin \theta$$

## وبالتالى إذا كان

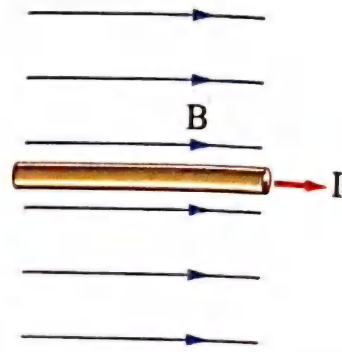
السلك عمودى على اتجاه خطوط الفيض  
( $\theta = 90^\circ$ )



$$F = BI\ell \sin 90 = BI\ell$$

أى تصبح القوة المؤثرة على السلك قيمة عظمى

السلك موازى لاتجاه خطوط الفيض  
( $\theta = 0^\circ$ )



$$F = BI\ell \sin 0 = 0$$

أى تنعدم القوة المؤثرة على السلك

فإن

\* مما سبق يمكن تعريف كثافة الفيض المغناطيسى ووحدة قياسها التيسلا (T) والتي تكافئ نيوتن/أمبير. متر (N/A.m) كالتالى :

التيسلا (T)

كثافة الفيض المغناطيسى الذى يولد قوة مقدارها 1 N على سلك طوله 1 m يمر به تيار كهربى شدته 1 A عندما يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى.

كثافة الفيض المغناطيسى (B)

مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك طوله 1 m يمر به تيار كهربى شدته 1 A موضوع عمودياً على الفيض المغناطيسى عند تلك النقطة.

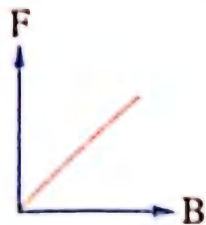
## ملحوظة

\* إذا مر تيار كهربى فى كل من ملف لولبى وسلك مستقيم منطبق على محور الملف فإن السلك لا يتأثر بقوة مغناطيسية،  
لأنه عند مرور تيار كهربى فى ملف لولبى تكون خطوط الفيض المغناطيسى عند محور الملف متوازية وموازية لمحور الملف فيكون السلك موازياً لخطوط المجال الكهربى  
أى أنه : ( $\theta = 0^\circ$ ) وتبعاً للعلاقة ( $F = BI\ell \sin \theta$ ) تصبح القوة المغناطيسية المؤثرة على السلك مساوية للصفر.

العوامل التي تتوقف عليها القوة المغناطيسية المؤثرة على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

### ٣ كثافة الفيض المغناطيسى :

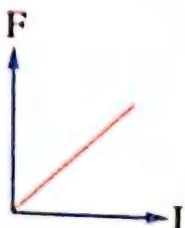
تتناسب القوة المغناطيسية  
تناسباً طردياً مع كثافة الفيض  
المغناطيسى.



$$\text{slope} = \frac{\Delta F}{\Delta B} = I l \sin \theta$$

### ٢ شدة التيار :

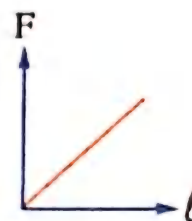
تتناسب القوة المغناطيسية  
تناسباً طردياً مع شدة التيار  
المر فى السلك.



$$\text{slope} = \frac{\Delta F}{\Delta I} = B l \sin \theta$$

### ١ طول السلك :

تتناسب القوة المغناطيسية  
تناسباً طردياً مع طول  
السلك.

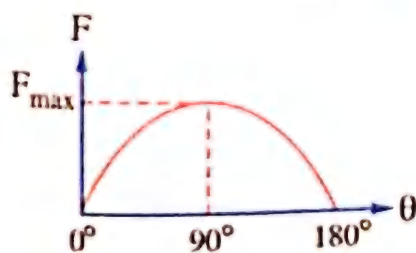


$$\text{slope} = \frac{\Delta F}{\Delta l} = B I \sin \theta$$

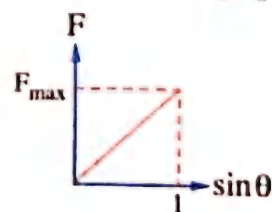
$$F = B I l \sin \theta$$

### ٤ الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه الفيض :

تمثل العلاقة بين القوة المغناطيسية والزاوية  
المحصورة بين السلك واتجاه الفيض  
بمنحنى جيبى.



تتناسب القوة المغناطيسية تناسباً طردياً  
مع جيب الزاوية المحصورة بين السلك  
واتجاه الفيض.



$$\text{slope} = \frac{\Delta F}{\Delta \sin \theta} = B I l$$

سلك مستقيم طوله 20 cm يمر به تيار كهربى شدته 3 A وموضوع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه  $2 \times 10^{-2} \text{ T}$ ، احسب القوة المؤثرة عليه فى الحالات الآتية :

- (أ) إذا كان السلك موازياً لاتجاه المجال.  
 (ب) إذا كان السلك عمودياً على اتجاه المجال.  
 (ج) إذا كان السلك يصنع زاوية  $30^\circ$  مع اتجاه المجال.

الحل

$$l = 0.2 \text{ m}$$

$$I = 3 \text{ A}$$

$$B = 2 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$F = ?$$

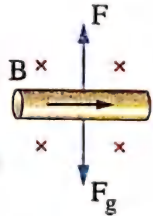
$$F = BIl \sin \theta$$

$$F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 0 = 0 \quad (أ)$$

$$F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 90 = 12 \times 10^{-3} \text{ N} \quad (ب)$$

$$F = 2 \times 10^{-2} \times 3 \times 0.2 \times \sin 30 = 6 \times 10^{-3} \text{ N} \quad (ج)$$

إرشاد



\* لى يظل سلك يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى عمودى على السلك متزن أفقياً تحت تأثير قوة وزنه ( $F_g$ ) والقوة المغناطيسية ( $F$ ) حيث  $F$  اتجاهها رأسياً ولأعلى :

$$F = F_g$$

$$BIl = mg$$

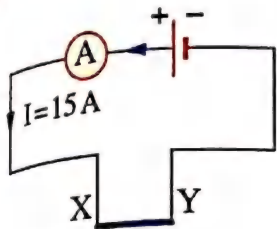
$$BIl = \rho V_{\text{ol}} g$$

$$BIl = \rho A l g$$

$$BI = \rho \pi r^2 g$$

\* أما إذا عكس اتجاه التيار فى السلك أو اتجاه المجال المغناطيسى تصبح القوتين  $F$  ،  $F_g$  فى نفس الاتجاه رأسياً إلى أسفل،  
 أو أن:

$$F_{\text{(المحصلة)}} = F_g + F$$



سلك XY من الألومنيوم مساحة مقطعه  $0.2 \text{ cm}^2$  معلق أفقياً، بينما يلامس طرفاه نهاية دائرة كهربائية كما هو مبين بالرسم، **احسب** كثافة الفيض المغناطيسى التى تعمل على أن يظل السلك معلقاً بدون استخدام مؤثر خارجى مع تحديد اتجاه كثافة الفيض (علماً بأن :  $\rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$  ،  $g = 10 \text{ m/s}^2$  )

الحل

$$A = 0.2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

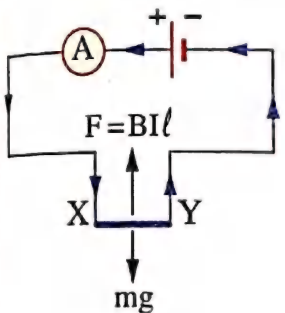
$$I = 15 \text{ A}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$B = ?$$

لكى يظل السلك XY معلق يجب أن يتساوى وزن السلك مع القوة المغناطيسية المؤثرة لأعلى.



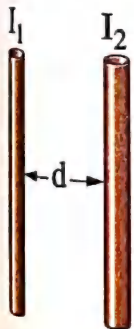
$$\therefore F = F_g$$

$$\therefore m = V_{ol} \rho_{Al} = A\ell \rho_{Al} \quad \therefore F = BI\ell \quad \therefore BI\ell = A\ell \rho_{Al} g$$

$$\therefore B = \frac{0.2 \times 10^{-4} \times 2700 \times 10}{15} = 36 \times 10^{-3} \text{ T}$$

واتجاه كثافة الفيض يكون إلى داخل الورقة وعمودى عليها.

### حساب القوة المتبادلة بين سلكين مستقيمين متوازيين ويحملان تيارين



\* إذا مر تياران  $I_1$  ،  $I_2$  فى سلكين طويلين جداً ومتوازيين المسافة بينهما  $d$  بحيث كان الطول المشترك للسلكين  $\ell$  فإن المجال المغناطيسى حول كل سلك يؤثر على السلك الآخر بقوة (F) كالتالى :

#### القوة المؤثرة على السلك الثانى ( $F_2$ )

تنشأ نتيجة تأثره بالمجال المغناطيسى للسلك الأول :

$$F_2 = B_1 I_2 \ell = \frac{\mu I_1}{2 \pi d} I_2 \ell$$

#### القوة المؤثرة على السلك الأول ( $F_1$ )

تنشأ نتيجة تأثره بالمجال المغناطيسى للسلك الثانى :

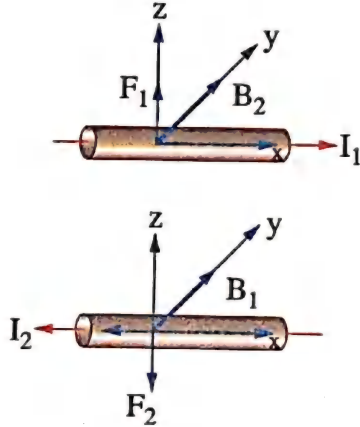
$$F_1 = B_2 I_1 \ell = \frac{\mu I_2}{2 \pi d} I_1 \ell$$

$$\therefore F = F_1 = F_2 = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2 \pi d}$$

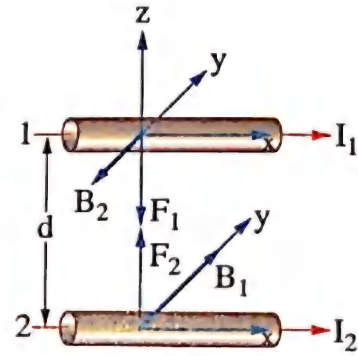
حيث : (F) القوة المتبادلة بين السلكين  
ويتوقف نوعها على اتجاه التيار في كل منهما

فإذا كان

$I_2, I_1$  في اتجاهين متضادين



$I_2, I_1$  في نفس الاتجاه



فإن

القوة المتبادلة تكون قوة تنافر

القوة المتبادلة تكون قوة تجاذب

لأن



محصلة كثافة الفيض بين  
السلكين أكبر من محصلة  
كثافة الفيض خارجهما  
فتتولد قوة مغناطيسية  
تؤثر على السلكين اتجاهها  
من الموضع الأعلى في  
كثافة الفيض (الداخل)  
إلى الموضع الأقل في كثافة  
الفيض (الخارج) فيتنافرا،  
كما بالشكل.



محصلة كثافة الفيض خارج  
السلكين أكبر من محصلة  
كثافة الفيض بينهما فتتولد  
قوة مغناطيسية تؤثر على  
السلكين اتجاهها من الموضع  
الأعلى في كثافة الفيض  
(الخارج) إلى الموضع الأقل  
في كثافة الفيض (الداخل)  
فيتجاذبا، كما بالشكل.

مثال

سلكان مستقيمان ومتوازيان المسافة بينهما في الهواء 2 m يمر في كل منهما تيار كهربى وفي نفس الاتجاه فإذا انعدمت كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة في منتصف المسافة بينهما وكانت القوة المؤثرة على متر واحد من أى من السلكين  $4 \times 10^{-5} \text{ N}$  المسافة بينهما وكانت القوة المؤثرة على متر واحد من أى من السلكين (علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ ) احسب شدة التيار المار في كل من السلكين

الحل

$$d = 2 \text{ m}$$

$$F = 4 \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$l = 1 \text{ m}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

∴ كثافة الفيض عند نقطة في منتصف المسافة بين السلكين = صفر

$$\therefore I_1 = I_2$$

$$F = \frac{\mu I_1 I_2 l}{2 \pi d}$$

$$4 \times 10^{-5} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times I_1^2 \times 1}{2 \pi \times 2}$$

$$I_1 = I_2 = 20 \text{ A}$$

إرشاد

\* لتعيين القوة المغناطيسية التى يؤثر بها سلكان متوازيان 1 ، 2 على سلك ثالث 3 موازى لهما وفي نفس المستوى :

– نحسب كثافة الفيض الناشئة عن السلك الأول عند موضع السلك الثالث :

$$B_{13} = \mu \frac{I_1}{2 \pi d_{13}}$$

– نحسب كثافة الفيض الناشئة عن السلك الثانى عند موضع السلك الثالث :

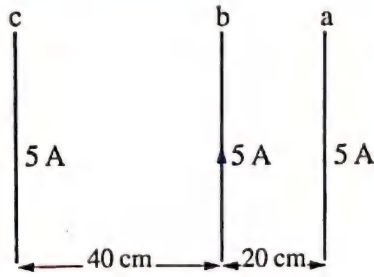
$$B_{23} = \mu \frac{I_2}{2 \pi d_{23}}$$

– نحسب كثافة الفيض المحصلة :

$$B_t = B_{13} \pm B_{23}$$

– نحسب القوة المحصلة :

$$F = B_t I_3 l_3$$



الشكل المقابل يوضح ثلاثة أسلاك متوازية، أوجد القوة المؤثرة على المتر الواحد من السلك **b** عندما يكون التياران في السلكين **a**، **c** :  
(أ) في اتجاه واحد. (ب) في اتجاهين متضادين.

(علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

الحل

$$I_a = I_c = I_b = 5 \text{ A}$$

$$d_{ab} = 20 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d_{cb} = 40 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$\frac{F_b}{l_b} = ?$$

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d}$$

$$B_{ab} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 5}{2 \pi \times 20 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^{-6} \text{ T}$$

$$B_{cb} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 5}{2 \pi \times 40 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^{-6} \text{ T}$$

$$B_t = B_{ab} - B_{cb} = (5 \times 10^{-6}) - (2.5 \times 10^{-6}) = 2.5 \times 10^{-6} \text{ T} \quad (أ)$$

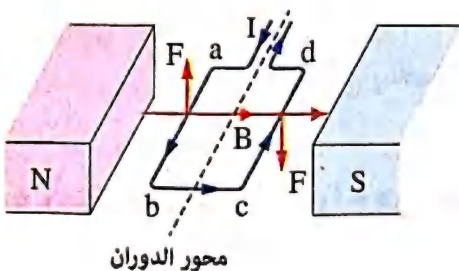
$$\frac{F_b}{l_b} = B_t I_b = 2.5 \times 10^{-6} \times 5 = 12.5 \times 10^{-6} \text{ N/m}$$

$$B_t = B_{ab} + B_{cb} = (5 \times 10^{-6}) + (2.5 \times 10^{-6}) = 7.5 \times 10^{-6} \text{ T} \quad (ب)$$

$$\frac{F_b}{l_b} = B_t I_b = 7.5 \times 10^{-6} \times 5 = 37.5 \times 10^{-6} \text{ N/m}$$

### عزم الازدواج المغناطيسي المؤثر على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى موضوع فى مجال مغناطيسى

\* إذا وضع ملف abcd يتكون من لفة واحدة ويمر به تيار كهربى فى مجال مغناطيسى منتظم بحيث يكون



مستوى الملف موازى لخطوط الفيض المغناطيسى، فإن :

- الضلعان bc ، ad يكونا موازيين لخطوط

الفيض المغناطيسى فتكون القوة المؤثرة على

كل منهما تساوى صفر.

- الضلعان ab ، cd يكونان متعامدان على خطوط الفيض المغناطيسى فيتأثر الضلعان

بقوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه قيمة كل منهما :  $F = BIl_{cd}$

\* نتيجة لهاتين القوتين ينشأ عزم ازدواج يعمل على دوران الملف حول محوره، وتتعين قيمته من العلاقة :

$$\tau = BIl_{cd} \times l_{bc}$$

عزم الازدواج = إحدى القوتين  $\times$  البعد العمودى بينهما

حيث : البعد العمودى بينهما = طول أحد الضلعين  $l_{bc}$  أو  $l_{ad}$

$$\therefore A = l_{cd} l_{bc} \quad \therefore \tau = BIA$$

وإذا كان الملف يحتوى على N من اللفات يصبح عزم الازدواج الكلى :

$$\tau = BIAN \sin \theta$$

وعندما يصنع العمودى على مستوى الملف زاوية  $\theta$  مع خطوط الفيض فإن :

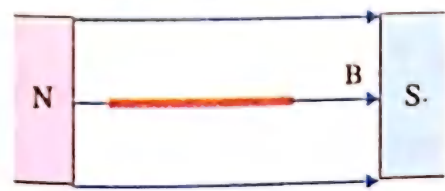
\* وبالمثل عندما يكون مستوى الملف عمودياً على الفيض المغناطيسى تصبح القوتين المؤثرتين

على كل ضلعين متقابلين للملف متساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه وخط عملها على

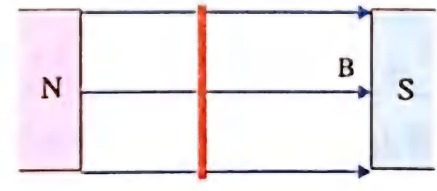
استقامة واحدة فتتعدم محصلتهما ولا يتولد عنهما عزم ازدواج، وبالتالى :

إذا كان

مستوى الملف موازى لاتجاه خطوط الفيض



مستوى الملف عمودى على اتجاه خطوط الفيض



فإن

العمودى على مستوى الملف يكون

عمودى على المجال ( $\theta = 90^\circ$ )

$$\tau = BIAN \sin 90 = BIAN$$

عزم الازدواج قيمة عظمى

العمودى على مستوى الملف يكون

موازى للمجال ( $\theta = 0^\circ$ )

$$\tau = BIAN \sin 0 = 0$$

عزم الازدواج ينعدم

أى ان

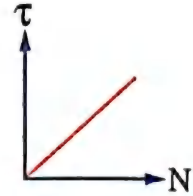
\* وحدة قياس عزم الازدواج هى نيوتن.متر (N.m) والتى تكافئ تسلا. أمبير. متر  $(T.A.m^2)$



## العوامل التي يتوقف عليها عزم الازدواج المغناطيسي

١ عدد لفات الملف :

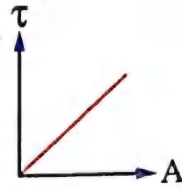
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسي تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta \tau}{\Delta N} = BIA \sin \theta$$

٢ مساحة وجه الملف :

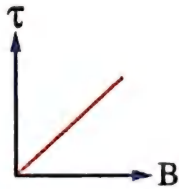
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسي تناسباً طردياً مع مساحة وجه الملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta \tau}{\Delta A} = BIN \sin \theta$$

٣ كثافة الفيض المغناطيسي :

يتناسب عزم الازدواج المغناطيسي تناسباً طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسي.

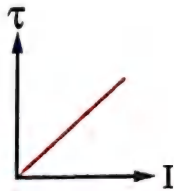


$$\text{slope} = \frac{\Delta \tau}{\Delta B} = IAN \sin \theta$$



٥ شدة التيار :

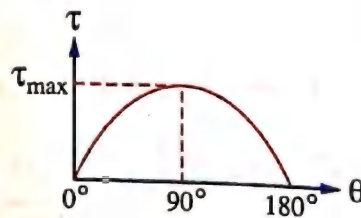
يتناسب عزم الازدواج المغناطيسي تناسباً طردياً مع شدة التيار المار في الملف.



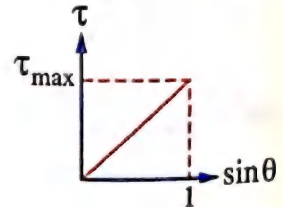
$$\text{slope} = \frac{\Delta \tau}{\Delta I} = BAN \sin \theta$$

٤ الزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض :

تمثل العلاقة بين عزم الازدواج المغناطيسي والزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض بمنحنى جيبى.



يتناسب عزم الازدواج المغناطيسي تناسباً طردياً مع جيب الزاوية المحصورة بين العمودى على مستوى الملف وخطوط الفيض.



$$\text{slope} = \frac{\Delta \tau}{\Delta \sin \theta} = BIAN$$

## مثال

ملف مستطيل مساحة وجهه  $50 \text{ cm}^2$  مكون من 100 لفة وضع في مجال مغناطيسي منتظم كثافة الفيض  $5 \text{ T}$  ويمر به تيار شدته  $1.2 \text{ A}$ ، أوجد عزم الازدواج المؤثر على الملف في الحالات الآتية،

- إذا كان مستوى الملف موازياً لاتجاه خطوط الفيض.
- إذا كان مستوى الملف عمودياً على اتجاه خطوط الفيض.
- عندما يصنع مستوى الملف زاوية  $20^\circ$  مع خطوط الفيض.

## الحل

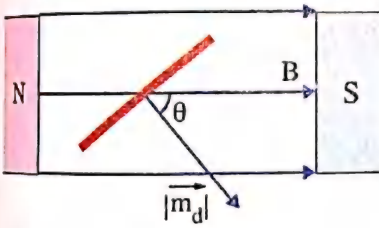
$$A = 50 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \quad N = 100 \quad B = 5 \text{ T} \quad I = 1.2 \text{ A} \quad \tau = ?$$

$$\tau = BIAN \sin \theta = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 90 = 3 \text{ N.m} \quad (1)$$

$$\tau = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 0 = 0 \quad (ب)$$

$$\tau = 5 \times 1.2 \times 50 \times 10^{-4} \times 100 \times \sin 70 = 2.82 \text{ N.m} \quad (ج)$$

## عزم ثنائي القطب المغناطيسي



\* عزم ثنائي القطب المغناطيسي لملف  $|\vec{m}_d|$  هو كمية متجهة واتجاهها عمودي على مستوى الملف.

$$|\vec{m}_d| = IAN$$

\* يتعين عزم ثنائي القطب المغناطيسي من العلاقة :

$$\tau = B |\vec{m}_d| \sin \theta$$

$$\therefore |\vec{m}_d| = \frac{\tau}{B \sin \theta}$$

\* يقاس عزم ثنائي القطب المغناطيسي بوحدة نيوتن.متر/تسلا ( $\text{N.m/T}$ ) وتكافئ أمبير.متر<sup>2</sup> ( $\text{A.m}^2$ ).

\* مما سبق يمكن تعريف عزم ثنائي القطب المغناطيسي كما يلي :

$$\vec{m}_d = \frac{\tau}{B \sin \theta}$$

يقدر بعزم الازدواج المغناطيسي المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى ويكون مستواه موازياً لفيض مغناطيسى كثافته  $1 \text{ T}$

## تحديد اتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي

\* عزم ثنائي القطب المغناطيسي دائماً عمودي على مستوى الملف، ويمكن تحديد اتجاهه باستخدام :

### ١ قاعدة البريمة اليمنى

### ٢ قاعدة اليد اليمنى

#### نص القاعدة (طريقة الاستخدام)

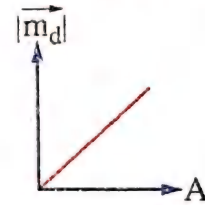
اجعل أصابع اليد اليمنى ماعدا الإبهام تشير إلى اتجاه التيار في الملف فيشير الإبهام إلى اتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي.

اتجاه عزم ثنائي القطب المغناطيسي يكون في اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى ويكون اتجاه دوران البريمة هو اتجاه التيار.

## العوامل التي يتوقف عليها عزم ثنائي القطب المغناطيسي

### ١ مساحة وجه الملف :

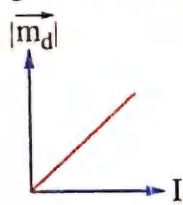
يتناسب عزم ثنائي القطب المغناطيسي تناسباً طردياً مع مساحة وجه الملف.



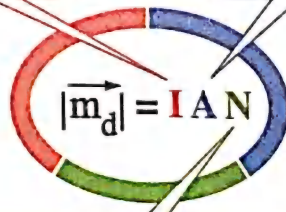
$$\text{slope} = \frac{\Delta |\vec{m}_d|}{\Delta A} = IN$$

### شدة التيار :

يتناسب عزم ثنائي القطب المغناطيسي تناسباً طردياً مع شدة التيار المار في الملف.

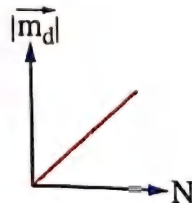


$$\text{slope} = \frac{\Delta |\vec{m}_d|}{\Delta I} = AN$$



### ٣ عدد لفات الملف :

يتناسب عزم ثنائي القطب المغناطيسي تناسباً طردياً مع عدد لفات الملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta |\vec{m}_d|}{\Delta N} = IA$$

## مثال

ملف دائري عدد لفاته  $N$  ونصف قطره  $10 \text{ cm}$  إذا مر به تيار كهربى شدته  $I$  تولد عند مركزه فيض مغناطيسى كثافته  $2 \times 10^{-4} \text{ T}$ ، احسب قيمة عزم ثنائى القطب المغناطيسى له.  
(علمًا بأن :  $\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$ )

## الحل

$$r = 0.1 \text{ m}$$

$$B = 2 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$\mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$|\vec{m}_d| = ?$$

$$\therefore B = \mu \frac{NI}{2r}$$

$$\therefore I = \frac{2rB}{\mu N} = \frac{2 \times 0.1 \times 2 \times 10^{-4}}{4 \pi \times 10^{-7} N} = \frac{31.82}{N}$$

$$A = \pi r^2 = \pi \times (0.1)^2 = 0.031 \text{ m}^2$$

$$|\vec{m}_d| = IAN = \frac{31.82}{N} \times 0.031 \times N$$

$$= 0.99 \text{ A.m}^2$$

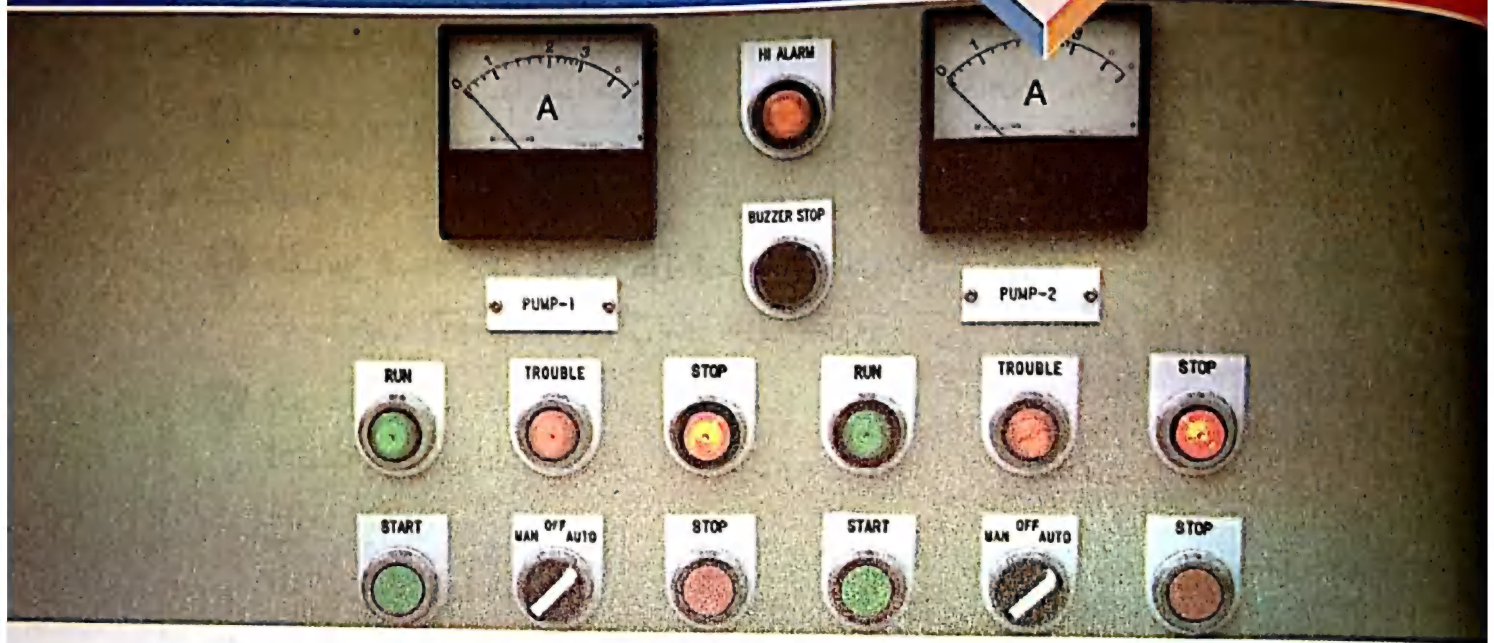
## تطبيقات عزم الازدواج المغناطيسى

١ أجهزة القياس التناظرية.

٢ المحرك الكهربى.



# أجهزة القياس الكهربى



\* درسنا فى الدرس السابق عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على ملف مستطيل يمر به تيار كهربى عند وضعه فى مجال مغناطيسى، وتستخدم هذه الفكرة فى عمل بعض أجهزة القياس الكهربى.

\* تنقسم أجهزة القياس الكهربى الى نوعين :

أجهزة القياس التناظرية (Analog)	أجهزة القياس الرقمية (Digital)
<b>فكرة العمل</b>	
تعتمد على عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار وقابل للحركة فى مجال مغناطيسى	تعتمد على الإلكترونات الرقمية
<b>طريقة بيان القراءة</b>	
تعتمد على وجود مؤشر يعطى القيمة المطلوبة	تعتمد على ظهور أعداد رقمية على الشاشة تحدد القيمة المطلوبة
<b>أمثلة</b>	
الجلفانومتر ذو الملف المتحرك والأميتر والفولتميتر	أجهزة القياس الرقمية للتيار المستمر أو التيار المتردد

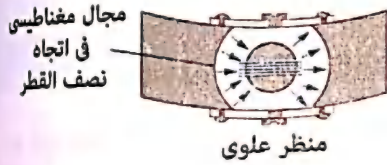
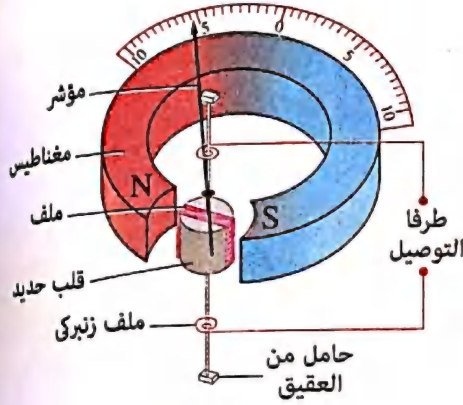
\* سنتناول فى هذا الدرس أحد أجهزة القياس الكهربى التناظرية بشىء من التفصيل وهو الجلفانومتر ذو الملف المتحرك وبعض التطبيقات عليه.

## الجلثانومتر ذو الملف المتحرك ( الجلثانومتر الحساس ) Moving Coil Galvanometer

### الاستخدام :

- 1 الاستدلال على وجود تيارات كهربية مستمرة ضعيفة جداً فى دائرة كهربية وقياس شدتها.
- 2 تحديد اتجاه التيارات المستمرة الضعيفة.

### التركيب :



- 1 ملف من سلك رفيع ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره.
- 2 قلب من الحديد المطاوع على هيئة أسطوانة ثابتة يوضع داخل الإطار المستطيل ومعزول عنه،

### لتركيز الفيض المغناطيسى داخل الملف.

- 3 مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين يوضع الملف والقلب الحديدي بينهما،

حتى تكون خطوط الفيض المغناطيسى بين القطبين على هيئة أنصاف أقطار وبالتالى فى أى وضع للملف تكون خطوط الفيض موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطولين.

- 4 زوج من الملفات الزنبركية (اللولبية)،

لتعمل كوصلات لدخول وخروج التيار من الملف وللتحكم فى حركة الملف كما تعمل على إعادة الملف إلى وضعه الأسمى عند انقطاع التيار.

- 5 حوامل من العقيق،

يرتكز عليها الملف لتقليل الاحتكاك وتسهيل حركته.

### الاساس العلمى (فكرة العمل) :

- الفكرة : عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).
- الشرح : عند مرور تيار كهربى فى الملف تتولد قوتان متوازيتان ومتساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه على الضلعين الطولين للملف فينشأ عنهما عزم ازدواج فيدور الملف حول محوره.



## شرح العمل :

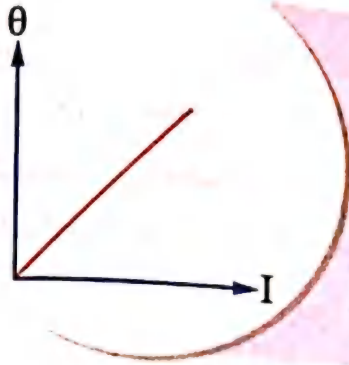
- ١ عند مرور التيار الكهربى فى الملف فإن القوى المغناطيسية تولد عزمًا يعمل على دوران الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة أو عكسها.
- ٢ أثناء دوران الملف يتولد فى الملفين الزنبركيين عزم لى يعاكس عزم الازدواج المؤثر على ملف الجلفانومتر وتزداد قيمته تدريجيًا بزيادة زاوية انحراف المؤشر.
- ٣ عندما يتزن عزم الازدواج المؤثر على ملف الجلفانومتر مع عزم اللى المتولد فى الملفين الزنبركيين يستقر المؤشر أمام قراءة معينة تدل على مقدار شدة التيار.
- ٤ إذا عكس اتجاه التيار الكهربى فى الملف يتحرك الملف والمؤشر فى عكس الاتجاه.

## ملاحظات

- \* صفر تدريج الجلفانومتر ذو الملف المتحرك فى المنتصف،  
**لتحديد** اتجاه التيار المار فى ملفه.
- \* لا يصلح الجلفانومتر ذو الملف المتحرك لقياس شدة التيارات الكهربائية العالية،  
**لأن** مرور تيار عالى الشدة قد يسبب :  
- انحراف كبير مفاجئ يؤدى إلى اختلال اتزان الملف وفقد ملفات اللى جزء من مرونتها مما يسبب خطأ فى صفر التدريج.  
- تولد حرارة فى أسلاك الملف مما قد يسبب تلف الملف.
- \* يجب معايرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك بعد فترة من استخدامه،  
**لأن** بعد فترة من استخدام الجلفانومتر ذو الملف المتحرك قد تضعف قوة اللى فى السلكين الزنبركيين وكذلك قوة المغناطيس المستخدم مما قد يؤثر على دقة قراءة الجهاز.

## حساسية الجلفانومتر

- \* يتناسب انحراف مؤشر الجلفانومتر طرديًا مع عزم الازدواج المغناطيسى المؤثر على الملف والذى يتناسب طرديًا مع شدة التيار المار فى الملف،  
لذلك يكون تدريج الجلفانومتر منتظم، فإذا كانت زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر  $\theta$  وشدة التيار المار فى الملف  $I$  فإن  $(\theta \propto I)$ ،  
أي  $\theta : I = \text{مقدار ثابت}$ .
- \* يسمى هذا المقدار الثابت حساسية الجلفانومتر :  
**حساسية الجلفانومتر**  $= \frac{\theta}{I}$
- \* تقاس حساسية الجلفانومتر بوحدة درجة/ميكروأمبير (deg/ $\mu A$ ).



\* يمكن تمثيل العلاقة بين زاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر ( $\theta$ ) وشدة التيار المار في الملف ( $I$ ) بيانياً كما بالشكل :

$$\text{slope} = \frac{\Delta \theta}{\Delta I} = \text{حساسية الجلفانومتر}$$

\* مما سبق يمكن تعريف حساسية الجلفانومتر كالتالى :

حساسية الجلفانومتر ( $\frac{\theta}{I}$ )

تقدر بزاوية انحراف مؤشر الجلفانومتر عن وضع الصفر عند مرور تيار فى ملفه شدته الوحدة.

### مثال

جلفانومتر ذو ملف متحرك عندما يمر به تيار كهربى شدته 30 mA ينحرف المؤشر بزاوية  $60^\circ$ ، احسب حساسية الجلفانومتر.

الحل

$$I = 30 \text{ mA}$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$\frac{\theta}{I} = ?$$

$$\text{حساسية الجلفانومتر} = \frac{\theta}{I} = \frac{60}{30} = 2 \text{ deg/mA}$$

### إرشاد

\* لتعيين شدة التيار المار فى ملف الجلفانومتر :

شدة التيار ( $I$ ) = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر  $\times$  دلالة القسم الواحد

### مثال

احسب أقصى شدة تيار يقيسه جلفانومتر مدرج إلى 50 قسم إذا كانت دلالة القسم الواحد 0.1 mA

الحل

$$I = ?$$

$$0.1 \text{ mA} = \text{دلالة قسم الجلفانومتر الواحد}$$

$$50 = \text{عدد الأقسام التى ينحرف إليها المؤشر}$$

شدة التيار = عدد الأقسام التى ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر  $\times$  دلالة القسم الواحد

$$I = 50 \times 0.1 = 5 \text{ mA} = 5 \times 10^{-3} \text{ A}$$



## تطبيقات على الجلفانومتر ذو الملف المتحرك

\* يمكن تحويل الجلفانومتر إلى :



### ١ أميتر التيار المستمر (الأميتر ذو الملف المتحرك) DC Ammeter

الاستخدام :

قياس شدة تيارات كهربية مستمرة عالية الشدة مقارنة بالجلفانومتر.

الأساس العلمي (فكرة العمل) :

عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

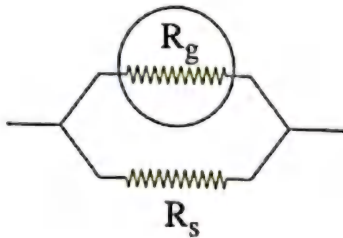


أميتر

التوصيل فى الدائرة الكهربائية :

يوصل الأميتر فى الدوائر الكهربائية على التوالى، حتى يمر فيه نفس التيار المار فى الدائرة.

التركيب :



١ جلفانومتر ذو ملف متحرك.

٢ مقاومة صغيرة تسمى مجزئ التيار

( $R_s$ )، توصل على التوازي مع

ملف الجلفانومتر،

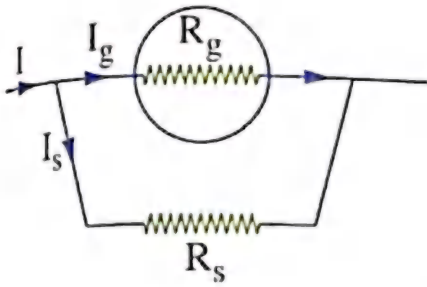
وأهميتها :

- ١- حماية الجلفانومتر من التلف نتيجة مرور معظم التيار بها.
- ٢- زيادة مدى الجلفانومتر ليقاس شدة تيار أكبر (تقليل حساسية الجهاز).
- ٣- تقلل من المقاومة الكلية للأميتر وبالتالي يقل تأثير الجهاز على المقاومة الكلية للدائرة وعلى شدة التيار المار بها عند توصيله فى الدائرة فتزيد دقة الجهاز فى قياس شدة التيار.

\* مما سبق يمكن تعريف مجزئ التيار كما يلي :

**مجزئ التيار**  
مقاومة صغيرة توصل بالجلقانومتر على التوازي لتحويله إلى أميتر يقيس شدة تيار أكبر.

### حساب قيمة مقاومة مجزئ التيار



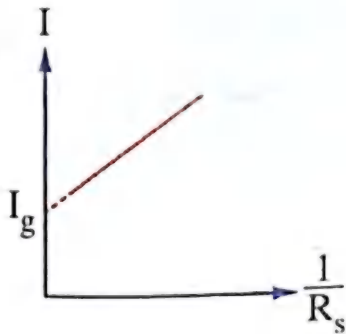
$\therefore R_s, R_g$  متصلتان على التوازي.

$$\therefore V_g = V_s$$

$$\therefore I_g R_g = I_s R_s \quad , \quad R_s = \frac{I_g R_g}{I_s}$$

$$\therefore I = I_g + I_s \quad \therefore I_s = I - I_g \quad \therefore R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

حيث :  $I_g$  أقصى تيار يتحمله ملف الجلقانومتر،  $I_s$  التيار المار في مجزئ التيار،  
شدة التيار الكلية (أقصى تيار يمكن أن يقيسه الأميتر).



\* العلاقة البيانية بين أقصى شدة تيار يقيسه الأميتر ( $I$ ) ومقلوب مقاومة مجزئ التيار ( $\frac{1}{R_s}$ ) :

$$\therefore I = I_g + \frac{V_g}{R_s}$$

$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta I}{\Delta (\frac{1}{R_s})} = V_g = I_g R_g$$

### مثال

جلقانومتر مقاومة ملفه  $2 \Omega$  يتحمل تيار أقصاه  $5 \text{ mA}$ ، احسب المقاومة اللازمة لتحويله إلى أميتر يقيس تيار أقصاه  $10 \text{ A}$

الحل

$$R_g = 2 \Omega \quad I_g = 5 \times 10^{-3} \text{ A} \quad I = 10 \text{ A} \quad R_s = ?$$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{5 \times 10^{-3} \times 2}{10 - (5 \times 10^{-3})} = 0.001 \Omega$$



## إرشاد

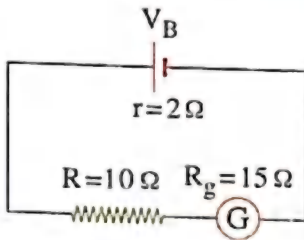
\* لحساب المقاومة الكلية للاميتر ( $R_{\text{اميتر}}$ ):

$$R_{\text{(اميتر)}} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} = \frac{V_g}{I}$$

\* لتعيين شدة التيار المار في الاميتر :

شدة التيار ( $I$ ) = عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الاميتر  $\times$  دلالة القسم الواحد

## مثال



الدائرة الكهربائية المقابلة تتكون من بطارية قوتها الدافعة الكهربائية  $V_B$  ومقاومتها الداخلية  $2 \Omega$  تتصل بمقاومة ثابتة  $10 \Omega$  وجلفانومتر مقاومة ملفه  $15 \Omega$ ، **أوجد** النسبة بين التيارين المارين في الدائرة الكهربائية قبل وبعد توصيل ملف الجلفانومتر بمجزئ تيار قيمته  $10 \Omega$

## الحل

$$r = 2 \Omega$$

$$R = 10 \Omega$$

$$R_g = 15 \Omega$$

$$R_s = 10 \Omega$$

$$\frac{I_1}{I_2} = ?$$

\* قبل توصيل مجزئ التيار :

$$I_1 = \frac{V_B}{R + R_g + r} = \frac{V_B}{10 + 15 + 2} = \frac{V_B}{27}$$

\* بعد توصيل مجزئ التيار :

$$R_{\text{(اميتر)}} = \frac{R_s R_g}{R_s + R_g} = \frac{10 \times 15}{10 + 15} = 6 \Omega$$

$$I_2 = \frac{V_B}{R + R_{\text{(اميتر)}} + r} = \frac{V_B}{10 + 6 + 2} = \frac{V_B}{18}$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_B}{27} \times \frac{18}{V_B} = \frac{2}{3}$$

## إرشاد

\* النسبة بين حساسية الأميتر وحساسية الجلفانومتر :

$$\frac{\text{حساسية الأميتر}}{\text{حساسية الجلفانومتر}} = \frac{\frac{\theta}{I}}{\frac{\theta}{I_g}} = \frac{I_g}{I}$$

$$\therefore R = \frac{V_g}{I} = \frac{I_g R_g}{I} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s}$$

$$\therefore \frac{I_g}{I} = \frac{R_s}{R_g + R_s}$$

## مثال ١

مجزئ تيار مقاومته  $0.1 \Omega$  ينقص حساسية جلفانومتر إلى العُشر، أوجد مقاومة المجزئ الذي ينقص حساسية هذا الجلفانومتر إلى الربع.

الحل

\* عندما تنقص الحساسية إلى العُشر فإن :

$$I = 10 I_g$$

$$\therefore (R_s)_1 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \quad \therefore 0.1 = \frac{I_g R_g}{10 I_g - I_g} = \frac{R_g}{9}$$

$$\therefore R_g = 0.9 \Omega$$

\* عندما تنقص الحساسية إلى الربع فإن :

$$I = 4 I_g$$

$$(R_s)_2 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{I_g \times 0.9}{4 I_g - I_g} = \frac{0.9}{3} = 0.3 \Omega$$

## مثال ٢

جلفانومتر مقاومة ملفه  $40 \Omega$  يتكون من عشرة أقسام ويدل كل قسم من أقسامه على  $10 \text{ mA}$ ،

(١) اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر لأميتر يقيس تيار أقصاه  $10 \text{ A}$ ، مع الرسم.

(ب) احسب دلالة القسم الواحد بعد تحويل الجلفانومتر لأميتر.

(ج) احسب المقاومة المكافئة للأميتر.



## الحل

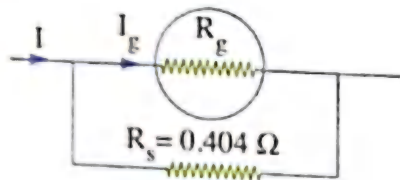
$$R_g = 40 \Omega \quad 10 = \text{عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر}$$

$$I = 10 \text{ A} \quad 10 \times 10^{-3} \text{ A} = \text{دلالة قسم الجلفانومتر الواحد}$$

$$R_s = ? \quad R_{(\text{أميتر})} = ? \quad \text{دلالة قسم الأميتر الواحد} = ?$$

(أ)  $I_g = \text{دلالة قسم الجلفانومتر الواحد} \times \text{عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الجلفانومتر}$   
 $= 10 \times 10 \times 10^{-3} = 0.1 \text{ A}$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.1 \times 40}{10 - 0.1} = 0.404 \Omega$$



توصل مقاومة قدرها  $0.404 \Omega$  على التوازي مع ملف الجلفانومتر.

(ب)  $\text{شدة التيار} = \text{عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الأميتر} \times \text{دلالة قسم الأميتر الواحد}$   
 $10 = 10 \times \text{دلالة قسم الأميتر الواحد}$

$$\text{دلالة قسم الأميتر الواحد} = 1 \text{ أمبير}$$

$$R_{(\text{أميتر})} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} = \frac{40 \times 0.404}{40 + 0.404} = 0.4 \Omega$$

(ج)



فولتميتر

## ٢ فولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter

### الاستخدام :

قياس فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربية.

### الاساس العلمى (فكرة العمل) :

عزم الازدواج المؤثر على ملف قابل للحركة يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى (التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى).

## التوصيل فى الدائرة الكهربائية :

يوصل الجهاز على التوازي بين طرفى الجزء المراد قياس فرق الجهد بين طرفيه فى الدائرة الكهربائية بحيث يتصل الطرف الموجب للقولتمتر بالجهد الموجب والطرف السالب بالجهد السالب،

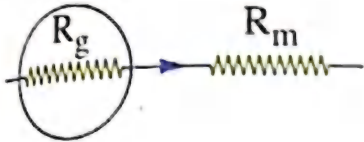
**ليكون** فرق الجهد بين طرفى القولتمتر مساوى لفرق الجهد المطلوب قياسه.

## التركيب :

١ جلفانومتر ذو ملف متحرك.

٢ مقاومة كبيرة تسمى مضاعف الجهد ( $R_m$ ) توصل

على التوالى مع ملف الجلفانومتر،



## وأهميتها :

١- زيادة مدى الجهاز ليقاس فروق جهد أكبر (تقليل حساسيته).

٢- زيادة المقاومة الكلية للقولتمتر وبالتالي عند توصيله على التوازي فى الدائرة يقل

ما يسحبه من تيار الدائرة فيقل تأثير الجهاز على فرق الجهد المطلوب قياسه مما

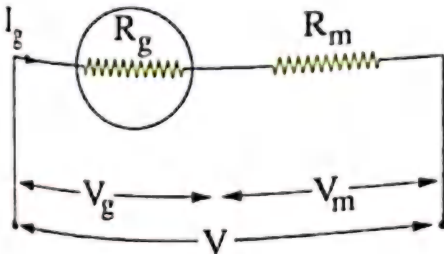
يعمل على زيادة دقة الجهاز.

\* مما سبق يمكن تعريف مضاعف الجهد كما يلى :

## مضاعف الجهد

مقاومة كبيرة توصل بالجلفانومتر على التوالى لتحويله إلى قولتمتر يقيس فروق جهد أكبر.

## حساب قيمة مقاومة مضاعف الجهد

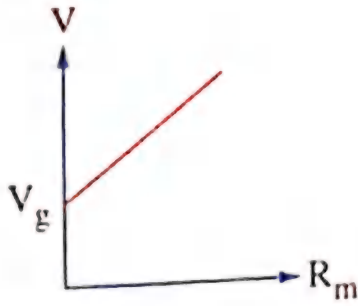


$\therefore R_m, R_g$  متصلتان على التوالى.

$$\therefore V = V_g + V_m = I_g R_g + I_g R_m$$

حيث : ( $V_m$ ) فرق الجهد بين طرفى مضاعف الجهد، ( $V$ ) أقصى فرق جهد يقيسه القولتمتر.

$$\therefore R_m = \frac{V - I_g R_g}{I_g}$$



العلاقة البيانية بين أقصى فرق جهد يقيسه الفولتميتر (V) ومقاومة مضاعف الجهد ( $R_m$ ):

$$\therefore V = I_g R_g + I_g R_m$$

$$\therefore \text{slope} = \frac{\Delta V}{\Delta R_m} = I_g$$

### مثال ١

جلفانومتر مقاومة ملفه  $0.1 \Omega$  ويبلغ أقصى انحراف لمؤشره عندما يمر بملفه تيار شدته  $1 \text{ mA}$ . احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى  $50 \text{ V}$

الحل

$$R_g = 0.1 \Omega$$

$$I_g = 10^{-3} \text{ A}$$

$$V = 50 \text{ V}$$

$$R_m = ?$$

$$V_g = I_g R_g = 10^{-3} \times 0.1 = 10^{-4} \text{ V}$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 10^{-4}}{10^{-3}} = 49999.9 \Omega$$

### مثال ٢

دائرة كهربائية تحتوي على مقاومة مقدارها  $20 \Omega$  موصلة على التوازي بفولتميتر مقاومته  $300 \Omega$ . وعندما مر بالدائرة تيار شدته الكلية  $1.2 \text{ A}$  انحراف مؤشر الفولتميتر إلى نهاية تدريجه. احسب قراءة الفولتميتر حينئذ، وإذا وصل الفولتميتر بعد ذلك على التوالي مع مقاومة مقدارها  $5700 \Omega$ . احسب أقصى فرق جهد يمكن أن يقيسه الفولتميتر في هذه الحالة.

الحل

$$R = 20 \Omega$$

$$R_g = 300 \Omega$$

$$I = 1.2 \text{ A}$$

$$R_m = 5700 \Omega$$

$$V_g = ?$$

$$V = ?$$

$$\tilde{R} = \frac{R_g R}{R_g + R} = \frac{300 \times 20}{300 + 20} = 18.75 \Omega$$

$$V_g = I \tilde{R} = 1.2 \times 18.75 = 22.5 \text{ V}$$

• لحساب أقصى فرق جهد (V) يمكن أن يقيسه الفولتميتر بعد توصيل مضاعف الجهد، لابد أولاً حساب أقصى شدة تيار ( $I_g$ ) يتحملة الجلفانومتر :

$$I_g = \frac{V_g}{R_g} = \frac{22.5}{300} = 0.075 \text{ A}$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g}, \quad 5700 = \frac{V - 22.5}{0.075}$$

$$\therefore V = 450 \text{ V}$$

### إرشاد

• لحساب المقاومة الكلية للفولتميتر ( $R_{\text{فولتميتر}}$ ) :

$$R_{\text{فولتميتر}} = R_g + R_m = \frac{V}{I_g}$$

• لتعيين فرق الجهد الكلي بين طرفي الفولتميتر :

فرق الجهد (V) = عدد الأقسام التي ينحرف إليها مؤشر الفولتميتر  $\times$  دلالة القسم الواحد

### مثال ١

جلفانومتر حساس مقاومة ملفه  $150 \Omega$  وأقصى تيار يتحملة  $10 \text{ mA}$  وصل ملفه على التوازي بمقاومة مقدارها  $10 \Omega$  ليكونا معاً جهازاً واحداً، ثم وصل هذا الجهاز على التوالي بمقاومة مقدارها  $1000 \Omega$  ليكونا فولتميتر، **احسب** أقصى فرق جهد يمكن أن يقيسه هذا الفولتميتر.

الحل

$$R_g = 150 \Omega \quad I_g = 10 \text{ mA} \quad R_s = 10 \Omega \quad R_m = 1000 \Omega$$

$$V = ?$$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$



$$10 = \frac{10 \times 10^{-3} \times 150}{I - (10 \times 10^{-3})}$$

$$\therefore I = 0.16 \text{ A}$$

$$R = \frac{150 \times 10}{150 + 10} = 9.375 \Omega$$

$$V = I (R + R_m) = 0.16 \times (9.375 + 1000) = 161.5 \text{ V}$$

### مثال ٢

فولتميتر يتكون من جلفانومتر مقاومته  $250 \Omega$  ومضاعف جهد  $(R_m)_1$  يستخدم لقياس فروق جهد حتى  $75 \text{ V}$ ، فإذا كانت شدة التيار المار في الفولتميتر  $0.02 \text{ A}$ ، احسب :  
(أ) مقاومة مضاعف الجهد.

(ب) أقصى فرق جهد يقيسه الفولتميتر إذا وصل مع مضاعف الجهد على التوالي مقاومة أخرى قيمتها  $3750 \Omega$

### الحل

$$R_g = 250 \Omega$$

$$V_1 = 75 \text{ V}$$

$$I_g = 0.02 \text{ A}$$

$$(R_m)_1 = ?$$

$$V_2 = ?$$

$$R_{\text{(فولتميتر)}} = \frac{V_1}{I_g} = \frac{75}{0.02} = 3750 \Omega$$

(أ)

$$R_{\text{(فولتميتر)}} = R_g + (R_m)_1$$

$$(R_m)_1 = R_{\text{(فولتميتر)}} - R_g = 3750 - 250 = 3500 \Omega$$

$$(R_m)_2 = (R_m)_1 + 3750 = 3500 + 3750 = 7250 \Omega$$

(ب)

$$V_2 = I_g ((R_m)_2 + R_g)$$

$$= 0.02 (7250 + 250) = 150 \text{ V}$$

### ٣ الأوميتر Ohmmeter

#### الاستخدام :

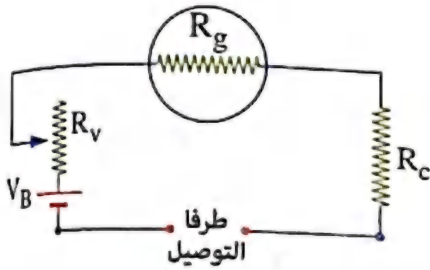
قياس قيمة مقاومة مجهولة.

#### التوصيل في الدائرة الكهربائية :

يوصل طرفي الجهاز بطرفي المقاومة المراد قياس قيمتها  $(R_x)$ .

## التركيب :

- ١ ميكروأميتر (جلقانومتر) يقرأ  $400 \mu A$  كحد أقصى ومقاومته  $(R_g = 250 \Omega)$ .
- ٢ مقاومة ثابتة  $(R_c = 3000 \Omega)$  توصل على التوالي مع الميكروأميتر،  
تعمل على زيادة مقاومة دائرة الأوميتر كي لا يمر تيار كبير في ملف الجلقانومتر فلا يتلف ملفه.



- ٣ مقاومة متغيرة مداها  $(R_v = 6565 \Omega)$  توصل على التوالي مع الميكروأميتر،

**للتحكم** في شدة التيار المار في الجهاز ويتم ضبطها في البداية بحيث تسمح بمرور أقصى تيار يتحمله الملف فينحرف المؤشر إلى نهاية تدريج الجلقانومتر (صفر تدريج الأوميتر) وذلك قبل إدماج أى مقاومة خارجية.

- ٤ عمود جاف مقاومته الداخلية مهمة وقوته الدافعة الكهربائية ثابتة  $(V_B = 1.5 V)$ ،  
حتى لا تتغير شدة التيار أثناء ضبط مؤشر الأوميتر أو أثناء استخدامه، وبالتالي تتناسب شدة التيار تناسباً عكسياً مع المقاومة الكلية تبعاً لقانون أوم.

## الأساس العلمي (فكرة العمل) :

يعتمد قياس مقاومة ما على العلاقة العكسية بين قيمة المقاومة الكلية للدائرة وشدة التيار المستمر عند ثبوت فرق الجهد تبعاً لقانون أوم :

$$I = \frac{V}{R_t}$$

فإذا ظل فرق الجهد ثابتاً ومعلومًا تقل قيمة شدة التيار المار في الدائرة بزيادة قيمة المقاومة الكلية  $(R_t)$  ويمكن معايرة الجلقانومتر ليعطى قيمة المقاومة المجهولة مباشرة.

## طريقة المعايرة :

- ١ تحسب قيمة مقاومة الدائرة اللازمة لمرور تيار  $I_g$  شدته  $400 \mu A$  من العلاقة :

$$R = \frac{V_B}{I_g} = \frac{1.5}{400 \times 10^{-6}} = 3750 \Omega$$



٢ تضبط المقاومة المتغيرة ( $R_v$ ) على  $500 \Omega$  لتصبح مقاومة الدائرة  $3750 \Omega$  ، حيث :

$$R = R_c + R_g + R_v = 3000 + 250 + 500 = 3750 \Omega$$

فينحرف المؤشر إلى نهاية التدرج وتكون أقصى شدة تيار تمر في الملف هي :

$$I_g = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v} = \frac{V_B}{R}$$

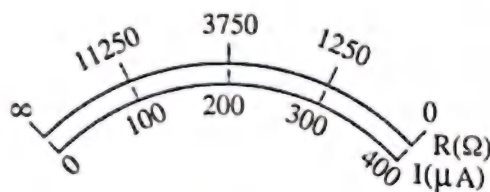
٣ يوصل طرفا التوصيل بمقاومة  $R_x$  لمعايرة الجهاز، فعند :

- توصيل مقاومة  $R_x$  قيمتها  $1250 \Omega$  (ثلث مقاومة الدائرة) ينحرف المؤشر إلى  $\frac{3}{4}$  التدرج، ويمكن حساب شدة التيار المار من العلاقة :

$$I = \frac{V_B}{R_t} = \frac{V_B}{R + R_x} = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v + R_x}$$

- توصيل مقاومة  $R_x$  قيمتها  $3750 \Omega$  (تساوى مقاومة الدائرة) يقل التيار المار وينحرف المؤشر إلى نصف التدرج.

- توصيل مقاومة  $R_x$  قيمتها  $11250 \Omega$  (3 أمثال مقاومة الدائرة) ينحرف المؤشر إلى  $\frac{1}{4}$  التدرج.



٤ يتم كتابة النتائج التي تم الحصول عليها على كل من تدريجي الجلفانومتر والأوميتير.

مما سبق نستنتج أن :

- ▶ التدرج المستخدم لقياس المقاومات (تدرج الأوميتير) عكس تدرج التيار (تدرج الأميتر)، **لأن** شدة التيار تتناسب عكسياً مع المقاومة الكلية للدائرة ( $I \propto \frac{1}{R_t}$ ) ، أى عند أقصى انحراف تنعدم المقاومة (عند ملامسة طرفي الاختبار).
- ▶ أقسام تدرج الأوميتير ليست متساوية (التدرج غير منتظم)، **لأن** شدة التيار تتناسب عكسياً مع المقاومة الكلية للدائرة وليس مع المقاومة المجهولة فقط.

مثال

مللى أميتر مقاومة ملفه  $50 \Omega$  يصل مؤشره إلى نهاية تدريجه إذا مر به تيار شدته  $0.01 \text{ A}$  يُراد تعديله إلى أوميتر، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية للعمود  $2 \text{ V}$ ، **احسب** المقاومة العيارية اللازم استخدامها.

الحل

$$R_g = 50 \Omega \quad I_g = 0.01 \text{ A} \quad V_B = 2 \text{ V} \quad R_c = ?$$

$$\therefore I_g = \frac{V_B}{R_g + R_c} \quad , \quad 0.01 = \frac{2}{50 + R_c} \quad \therefore R_c = 150 \Omega$$

إرشاد

• عندما ينحرف مؤشر الأوميتر إلى جزء من التدريج، فإن :

$$I_g = \frac{V_B}{R} \quad , \quad I = \frac{V_B}{R + R_x} \quad \therefore \frac{I_g}{I} = \frac{R + R_x}{R}$$

مثال ١

أوميتر ينحرف مؤشره إلى  $\frac{1}{4}$  تدريجه عندما يوصل معه مقاومة  $300 \Omega$ ، **احسب** المقاومة التي تجعل مؤشره ينحرف إلى  $\frac{1}{6}$  تدريجه.

الحل

$$I_1 = \frac{I_g}{4} \quad (R_x)_1 = 300 \Omega \quad I_2 = \frac{I_g}{6} \quad (R_x)_2 = ?$$

$$\therefore I_g = \frac{V_B}{R} \quad \therefore \frac{1}{4} I_g = \frac{V_B}{4R} = \frac{V_B}{R + 300}$$

$$\therefore I_1 = \frac{V_B}{R + (R_x)_1} \quad R = 100 \Omega \quad \therefore \frac{V_B}{6R} = \frac{V_B}{R + (R_x)_2}$$

$$\therefore I_2 = \frac{I_g}{6} \quad \therefore (R_x)_2 = 500 \Omega$$

$$\therefore 600 = 100 + (R_x)_2$$



## مثال ٢

أوميتير ينحرف مؤشره إلى  $\frac{1}{3}$  تدريجه عندما توصل معه مقاومة  $600 \Omega$ ، احسب :  
 (١) المقاومة اللازم توصيلها لينحرف مؤشره إلى  $\frac{3}{4}$  تدريجه.

(ب) القوة الدافعة الكهربائية للبطارية إذا كان أقصى تيار يقيسه الميكروأميتير  $10 \text{ mA}$

## الحل

$$I_1 = \frac{I_g}{3} \quad I_2 = \frac{3 I_g}{4} \quad I_g = 10 \times 10^{-3} \text{ A} \quad (R_x)_1 = 600 \Omega \quad (R_x)_2 = ? \quad V_B = ?$$

$$\frac{I_g}{I_1} = \frac{R + (R_x)_1}{R} \quad (١)$$

$$\frac{3 I_g}{I_g} = \frac{R + 600}{R}$$

$$3 R = R + 600$$

$$R = 300 \Omega$$

$$\frac{I_g}{I_2} = \frac{R + (R_x)_2}{R}$$

$$\frac{4 I_g}{3 I_g} = \frac{300 + (R_x)_2}{300}$$

$$400 = 300 + (R_x)_2$$

$$(R_x)_2 = 100 \Omega$$

$$I_g = \frac{V_B}{R}$$

$$10 \times 10^{-3} = \frac{V_B}{300}$$

$$V_B = 3 \text{ V}$$

(ب)

\* مما سبق يمكن المقارنة بين الأميتر والفولتميتر والأوميتر كما يلي :

الأميتر	الفولتميتر	الأوميتر	الوظيفة
قياس شدة تيارات كهربية مستمرة عالية الشدة مقارنة بالجلفانومتر	قياس فرق الجهد بين نقطتين	قياس قيمة مقاومة مجهولة	فكرة العمل
عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى	عزم الازدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى	يعتمد قياس مقاومة ما ( $R_x$ ) على العلاقة العكسية بين قيمة المقاومة الكلية للدائرة وشدة التيار عند ثبوت فرق الجهد تبعاً لقانون أوم ( $I = \frac{V}{R_t}$ )، فإذا ظل فرق الجهد ثابتاً ومعلومًا تقل قيمة شدة التيار المار فى الدائرة بزيادة قيمة المقاومة $R_x$	
يوصل ملفه على التوازي بمقاومة صغيرة (مجزئ التيار $R_s$ )	يوصل ملفه على التوالي بمقاومة كبيرة (مضاعف الجهد $R_m$ )	يوصل ملفه على التوالي بمقاومة عيارية قيمتها محسوبة ( $R_c$ ) ومقاومة متغيرة ( $R_v$ ) وعمود كهربى مقاومته الداخلية ( $r$ )	المقاومة التى تتصل بملف الجلفانومتر
يوصل على التوالي فى الدائرة المراد قياس شدة التيار الكهربى المار فيها	يوصل على التوازي بين النقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما	يوصل طرفى الجهاز بطرفى المقاومة المراد قياس قيمتها ( $R_x$ )	طريقة التوصيل فى الدوائر
$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$	$R_m = \frac{V - V_g}{I_g}$	$I = \frac{V_B}{R_g + R_c + R_v + R_x + r}$	القانون المستخدم
منتظم لأن ( $\theta \propto I$ )	منتظم لأن ( $\theta \propto V$ )	غير منتظم لأن ( $I \propto \frac{1}{R + R_x}$ )	تدرج الجهاز





## الوحدة الأولى

الكهربية التيارية  
والكهرومغناطيسية

## الحث الكهرومغناطيسي

### الفصل 3

#### الدرس الأول

• قانون فاراداي.

• القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة  
في سلك مستقيم.

#### الدرس الثاني

• الحث المتبادل بين ملفين.

• الحث الذاتي لملف.

#### الدرس الثالث

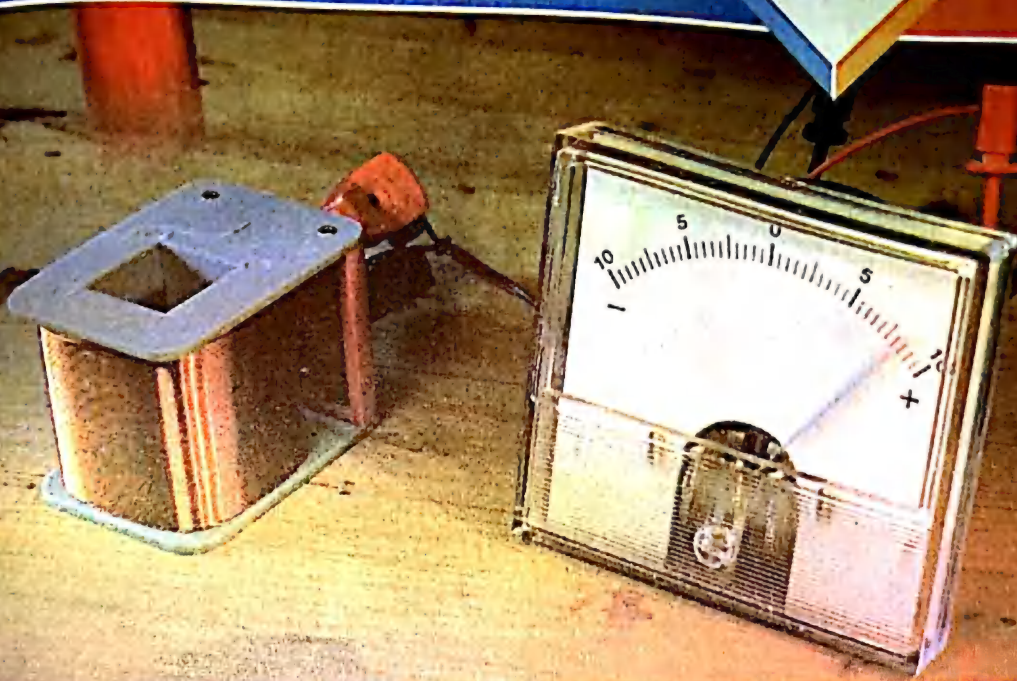
• المولد الكهربى.

#### الدرس الرابع

• المحول الكهربى.

• المحرك الكهربى.

# • قانون فاراداي • القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في سلك مستقيم



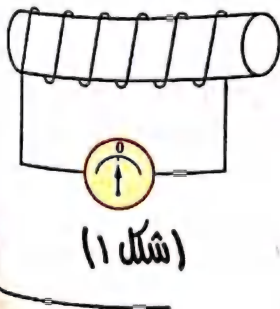
\* درسنا في الفصل السابق اكتشاف أورستد للتأثير المغناطيسي للتيار الكهربى وتولد مجال مغناطيسى حول موصل يمر به تيار كهربى، فهل يمكن لمجال مغناطيسى أن يولد فرق جهد بين طرفى موصل موضوع فى هذا المجال ليسرى تياراً كهربياً فى الموصل عند توصيله فى دائرة مغلقة ؟ نعم، وهذا ما أثبتته العالم فاراداي من خلال دراسة التأثير الناتج عن تغير المجال المغناطيسى المقطوع بواسطة موصل مع الزمن وأطلق على هذه الظاهرة الحث الكهرومغناطيسى.

## تجربة فاراداي لتوضيح الحث الكهرومغناطيسى

**الغرض من التجربة :** الحصول على قوة دافعة كهربية مستحثة فى ملف.

**الخطوات والملاحظات :**

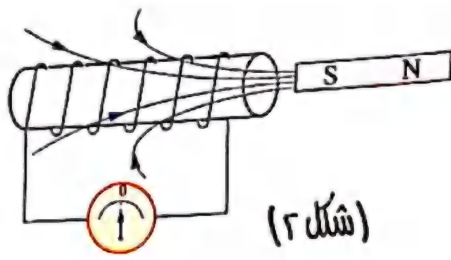
- ١ قم بإعداد ملف من سلك من النحاس لفاته معزولة عن بعضها البعض، ووصل طرفى الملف بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف (شكل ١).





٢ ثبت مغناطيس بالقرب من الملف.

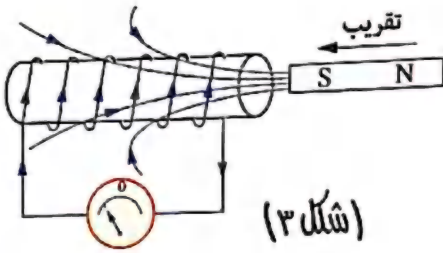
**الملاحظة:** لا ينحرف مؤشر الجلفانومتر (شكل ٢).



(شكل ٢)

٣ قرب المغناطيس من الملف.

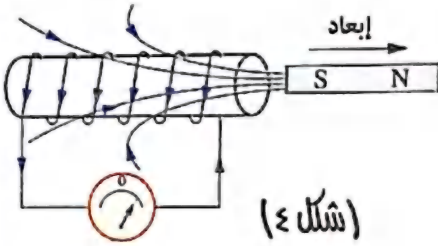
**الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر لحظياً في اتجاه معين (شكل ٣).



(شكل ٣)

٤ ابعد المغناطيس عن الملف.

**الملاحظة:** ينحرف المؤشر لحظياً في الاتجاه المضاد (شكل ٤).



(شكل ٤)

٥ ثبت المغناطيس وحرك الملف نحو المغناطيس أو بعيداً عنه.

**الملاحظة:** نلاحظ نفس الملاحظات السابقة في ٣ ، ٤.

٦ قم بزيادة سرعة أحدهما بالنسبة للآخر سواء في حالة التقريب أو الإبعاد.

**الملاحظة:** يزداد انحراف مؤشر الجلفانومتر.

### الاستنتاج :

- تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة (تأثيرية) وكذلك تيار كهربي مستحث (تأثيري) في الملف نتيجة قطعه لفيض مغناطيسي متغير.
- يتوقف اتجاه التيار المستحث (التأثيري) على اتجاه الحركة النسبية بين الملف والمغناطيس واتجاه المجال المغناطيسي للمغناطيس.

\* مما سبق يمكن تعريف الحث الكهرومغناطيسي كالتالي :

### الحث الكهرومغناطيسي

ظاهرة تولد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار كهربي مستحث في موصل في دائرة مغلقة نتيجة تغير الفيض المغناطيسي الذي يقطع الموصل.

- \* يمكن تحديد :
- ١ اتجاه التيار المستحث المتولد في ملف عند تغير الفيض المغناطيسي الذي يقطعه الملف باستخدام قاعدة لنز.
  - ٢ قيمة القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتوسطة المتولدة في ملف عند تغير الفيض المغناطيسي الذي يقطعه الملف باستخدام قانون فاراداي.

### قاعدة لنز

#### نص القاعدة :

اتجاه التيار الكهربى المستحث يعاكس التغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له.

#### التفسير :

##### عند إبعاد القطب الجنوبي لمغناطيس عن ملف

- يتولد فى الملف emf مستحثة ويمر به تيار مستحث.
- يتولد عن هذا التيار مجال مغناطيسى فى الملف يقاوم النقص فى الفيض المغناطيسى المؤثر.

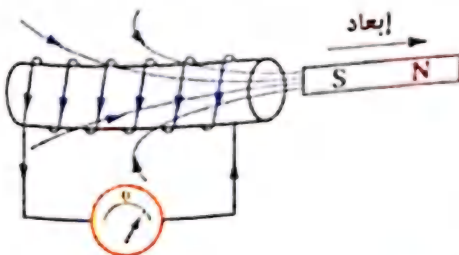
##### عند تقريب القطب الجنوبي لمغناطيس من ملف

- يتولد فى الملف emf مستحثة ويمر به تيار مستحث.
- يتولد عن هذا التيار مجال مغناطيسى فى الملف يقاوم الزيادة فى الفيض المغناطيسى المؤثر.

#### فيتكون عند طرف الملف القريب من المغناطيس

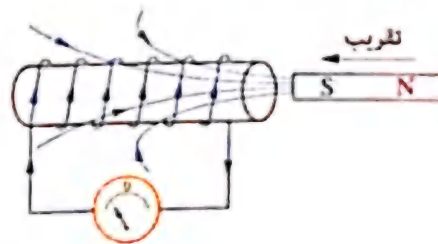
قطب مخالف للقطب المبتعد  
(قطب شمالي)

وتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين على مقاومة حركة إبعاد هذا القطب.



قطب مشابه للقطب المقرب  
(قطب جنوبي)

وتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب.





## ملحوظة

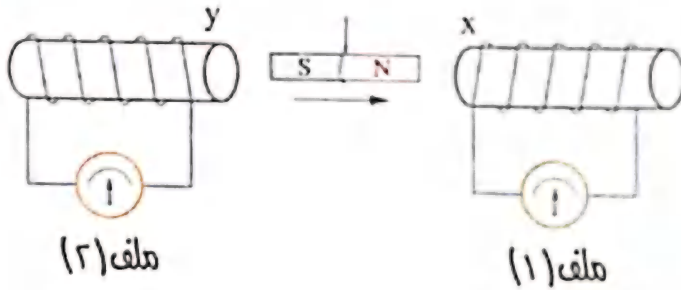
عند تقريب أو إبعاد مغناطيس من ملف متصل بدائرة كهربية مغلقة يتولد تيار

كهربى مستحث فى الملف ويصبح لدينا مجالان مغناطيسيان، هما ،

(١) مجال مغناطيسى خارجى متغير يولد قوة دافعة كهربية مستحثة وتيار كهربى مستحث فى الموصل.

(٢) مجال مغناطيسى ينشأ من التيار المستحث المار فى الموصل.

## مثال

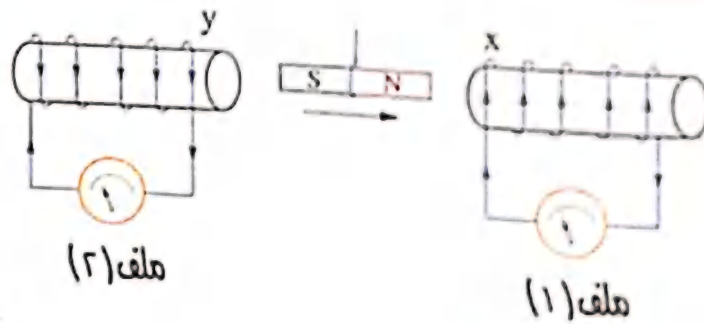


الشكل المقابل يوضح ملفين يتصل كل منهما بجلفانومتر ذو ملف متحرك صفر تدريجه فى المنتصف وموضوع بينهما مغناطيس، إذا تحرك المغناطيس فى الاتجاه الموضح بالرسم :

(أ) حدد على الرسم اتجاه التيار المستحث المتولد فى الملفين.

(ب) حدد نوع الأقطاب المغناطيسية المتكونة عند الطرفين x ، y

## الصل



(١)

(ب) عند الطرف x يتكون قطب شمالي.

عند الطرف y يتكون قطب شمالي.

## قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي

\* يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية (emf) المستحثة طردياً مع :

- المعدل الزمني الذي يقطع به الملف خطوط الفيض (المعدل الزمني للتغير في الفيض) :

$$emf \propto \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

$$emf \propto N$$

- عدد لفات الملف الذي يقطع خطوط الفيض :

$$\therefore emf = \text{constant} \times N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

\* عند استخدام وحدات النظام الدولي تصبح قيمة ثابت

التناسب مساوية للواحد الصحيح، فيكون :

$$emf = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}$$

(قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي)

\* لا تؤثر الإشارة السالبة في قانون فاراداي على قيمة القوة الدافعة الكهربائية المستحثة ولكن

تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة وكذلك اتجاه التيار المستحث يعاكس التغير في

الفيض المغناطيسي المسبب له تبعاً لقاعدة لنز.

\* مما سبق يمكن تعريف قانون فاراداي والوبر كالتالي :

### قانون فاراداي

القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في ملف بالحث الكهرومغناطيسي تتناسب طردياً مع المعدل الزمني الذي يقطع به الملف خطوط الفيض المغناطيسي وكذلك مع عدد لفات الملف.

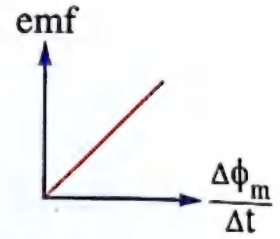
### الوبر

الفيض المغناطيسي الذي يخترق عمودياً ملف يتكون من لفة واحدة وعندما يتلاشى تدريجياً بانتظام خلال ثانية واحدة يتولد في الملف قوة دافعة كهربائية مستحثة مقدارها 1 فولت.

المعدل الزمني الذي يقطع به

الملف الفيض المغناطيسي :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في ملف طردياً مع المعدل الزمني الذي يقطع به الملف خطوط الفيض.

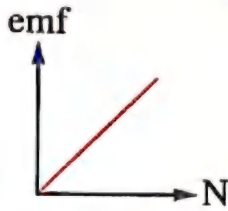


$$\text{slope} = \frac{\Delta(\text{emf})}{\Delta\left(\frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}\right)} = N$$

$$\text{emf} = -N \frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}$$

عدد لفات الملف :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في ملف طردياً مع عدد لفات الملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta(\text{emf})}{\Delta N} = \frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}$$

ما سبق نستنتج أن :

يمكن توليد قوة دافعة كهربائية مستحثة في ملف يقطع خطوط مجال مغناطيسي عن طريق :

(١) تغيير مقدار أو اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر.

(٢) تغيير مساحة الملف المعرضة للمجال المغناطيسي.

(٣) تغيير زاوية ميل المجال المغناطيسي على مستوى الملف.

يمكن زيادة القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في ملف عن طريق :

(١) زيادة عدد لفات الملف.

(٢) زيادة النفاذية المغناطيسية للوسط (مثلاً استخدام قلب من الحديد).

(٣) زيادة سرعة الحركة النسبية بين الملف والمغناطيس.

(٤) زيادة قوة المغناطيس المستخدم.

مثال

ملف عدد لفاته 200 لفة يقطع فيض مغناطيسي قدره  $7 \times 10^{-3} \text{ Wb}$  فإذا تغير هذا الفيض ليصبح  $5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$  في زمن قدره  $0.1 \text{ s}$ ،  
احسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في الملف.

الحل

$$N = 200$$

$$(\phi_m)_1 = 7 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$(\phi_m)_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\Delta t = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{emf} = ?$$

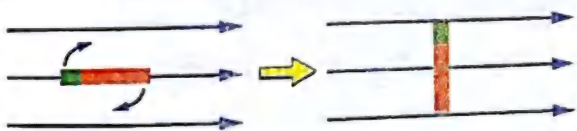
$$\Delta \phi_m = (\phi_m)_2 - (\phi_m)_1 = (5 \times 10^{-3}) - (7 \times 10^{-3}) = -2 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\text{emf} = -N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} = -200 \times \frac{-2 \times 10^{-3}}{0.1} = 4 \text{ V}$$

\* بفرض أن الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف في الوضع العمودي الابتدائي يساوي  $(+BA)$ ، فإذا :

- أدير الملف  $90^\circ$  ( $\frac{1}{4}$  دورة) :

من الوضع الموازي



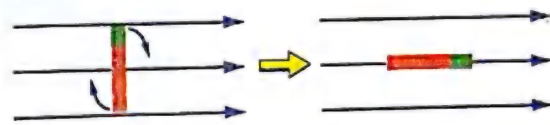
(أصبح الملف عمودي على الفيض)

$$\Delta \phi_m = BA - 0 = BA$$

$$\text{emf} = -N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$= -N \frac{BA}{\Delta t}$$

من الوضع العمودي



(أصبح الملف موازياً للفيض أو نزع الملف من الفيض أو تلاشى الفيض)

$$\Delta \phi_m = 0 - BA = -BA$$

$$\text{emf} = -N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} = -N \frac{(-BA)}{\Delta t}$$

$$= N \frac{BA}{\Delta t}$$

فإن

- أدير الملف  $180^\circ$  ( $\frac{1}{2}$  دورة) أو قلب الملف في الفيض أو عكس اتجاه الفيض :

من الوضع الموازي	فإن	من الوضع العمودي
$\Delta\phi_m = 0$ $emf = 0$		$\Delta\phi_m = -BA - BA = -2BA$ $emf = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{(-2BA)}{\Delta t}$ $= N \frac{2BA}{\Delta t}$

- أدير الملف  $270^\circ$  ( $\frac{3}{4}$  دورة) :

من الوضع الموازي	فإن	من الوضع العمودي
$\Delta\phi_m = -BA - 0 = -BA$ $emf = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{(-BA)}{\Delta t} = N \frac{BA}{\Delta t}$		$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$ $emf = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{(-BA)}{\Delta t} = N \frac{BA}{\Delta t}$

- أدير الملف  $360^\circ$  (دورة كاملة) :

من الوضع الموازي	فإن	من الوضع العمودي
$\Delta\phi_m = 0$ $emf = 0$		$\Delta\phi_m = BA - BA = 0$ $emf = 0$

$$\Delta\phi_m = B\Delta A$$

$$\Delta\phi_m = A\Delta B$$

- تغيرت مساحة الملف التي تقطع خطوط المجال :

- تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي التي تقطع الملف :

مثال

ملف على شكل مربع طول ضلعه 10 cm يتكون من 500 لفة، وضع عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه 0.1 T، احسب **emf** المستحثة المتولدة فيه إذا:

(أ) قلب الملف خلال 0.05 s (ب) دار الملف  $\frac{1}{4}$  دورة خلال 0.025 s

(ج) انعدم الفيض خلال 0.15 s (د) زادت كثافة الفيض إلى 0.3 T خلال 0.75 s

الحل

$l = 10 \text{ cm}$   $N = 500$   $B = 0.1 \text{ T}$  **emf = ?**

**emf** =  $-N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} = -N \frac{(-2 BA)}{\Delta t} = \frac{-500 \times (-2) \times 0.1 \times 10^2 \times 10^{-4}}{0.05} = 20 \text{ V} (أ)$

**emf** =  $-N \frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{-500 \times (-0.1) \times 10^{-2}}{0.025} = 20 \text{ V} (ب)$

**emf** =  $-N \frac{(-BA)}{\Delta t} = \frac{-500 \times (-0.1) \times 10^{-2}}{0.15} = 3.33 \text{ V} (ج)$

**emf** =  $-NA \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{-500 \times 10^{-2} \times (0.3 - 0.1)}{0.75} = -1.33 \text{ V} (د)$

Eddy Currents التيارات الدوامية

الفكرة العلمية: الحث الكهرومغناطيسي.

شرح الفكرة العلمية:

التيارات الدوامية  
التيارات الكهربائية المستحثة التي  
تتولد في قطعة معدنية معرضة  
لفيضع مغناطيسي متغير.

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة تسمى التيارات الدوامية، تسبب ارتفاع درجة حرارة القطعة المعدنية.

شروط حدوثها:

تحريك قطعة معدنية في مجال مغناطيسي ثابت.  
أو تعريض قطعة معدنية لمجال مغناطيسي متغير.

الاستخدام: في أفران الحث لصهر الفلزات (المعادن).

الأضرار: فقد جزء من الطاقة الكهربائية على صورة طاقة حرارية.

التقليل من أثارها الضارة في الأجهزة الكهربائية:

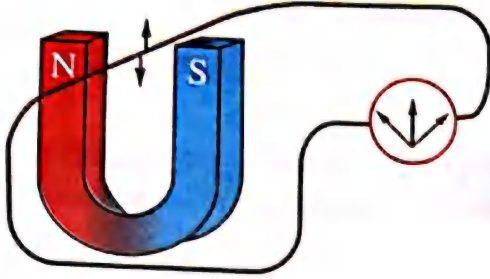
يلف الملف على قلب من الحديد المطاوع السيليكوني المصنوع على شكل شرائح رقيقة متوازية وموازية لمحور الملف ومعزولة عن بعضها،

لزيادة مقاومة القلب الحديدي مما يقلل من التيارات الدوامية، فتقل الطاقة الكهربائية المستنفذة على صورة طاقة حرارية.



## القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في سلك مستقيم

\* عند تحريك سلك مستقيم في مجال مغناطيسي بحيث يكون اتجاه السرعة عمودى على اتجاه المجال بحيث يقطع السلك خطوط الفيض المغناطيسى، فإن ذلك يؤثر على الإلكترونات الحرة في السلك المتحرك فتندفع من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر وينشأ فرق في الجهد بين طرفي السلك وبذلك تتولد emf مستحثة بين طرفيه، وإذا كان السلك في دائرة كهربائية مغلقة يمر تيار كهربى مستحث بالدائرة.

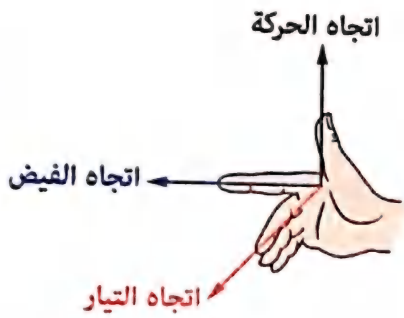


\* يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربى المستحث المتولد في السلك باستخدام قاعدة اليد اليمنى لفلمنج.

### قاعدة اليد اليمنى لفلمنج

#### الاستخدام :

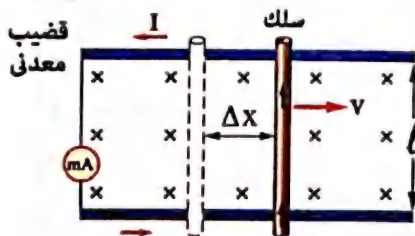
تحديد اتجاه التيار الكهربى المستحث في سلك مستقيم يتحرك عمودياً على فيض مغناطيسى.



#### نص القاعدة (طريقة الاستخدام) :

اجعل أصابع اليد اليمنى متعامدة بحيث يشير الإبهام لاتجاه حركة السلك، والسبابة يشير لاتجاه الفيض المغناطيسى وعندئذ تشير باقى الأصابع لاتجاه التيار الكهربى المستحث.

## استنتاج الصيغة الرياضية لحساب emf المستحثة في سلك مستقيم



\* عند تحريك سلك مستقيم طوله l بسرعة v في اتجاه عمودى على فيض مغناطيسى منتظم كثافته B «اتجاهه عمودى على الصفحة للداخل» كما بالشكل، فإذا كانت الإزاحة الحادثة Δx خلال زمن Δt :

$$\therefore \text{emf} = -\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -\frac{B\Delta A}{\Delta t} = -\frac{Bl\Delta x}{\Delta t}$$

$$\therefore \frac{\Delta x}{\Delta t} = v$$

$$\therefore \text{emf} = -Blv$$

(الإشارة السالبة وفقاً لقاعدة لنز)

وإذا كان اتجاه حركة السلك (سرعته) يصنع زاوية  $\theta$  مع اتجاه المجال المغناطيسي فإن :

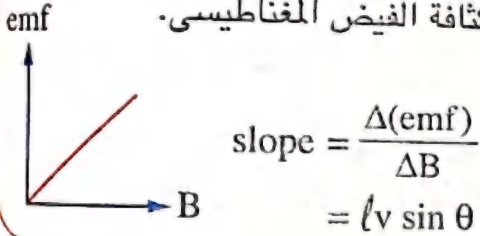
$$emf = -B\ell v \sin \theta$$

وبالتالى إذا كان السلك يتحرك موازياً للمجال المغناطيسى فإن :  
 $emf = -B\ell v \sin 0 = 0$  أى لا تتولد  $emf$  مستحثة.

العوامل التى يتوقف عليها مقدار  $emf$  المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم يقطع فيض مغناطيسى

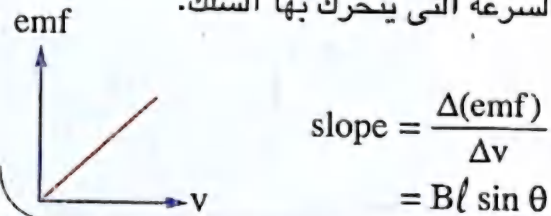
كثافة الفيض المغناطيسى :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة فى سلك تناسباً طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسى.



السرعة التى يتحرك بها السلك :

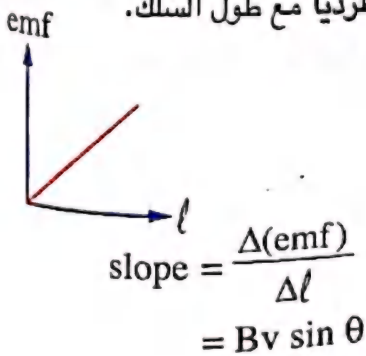
يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة فى سلك تناسباً طردياً مع السرعة التى يتحرك بها السلك.



$$emf = -B\ell v \sin \theta$$

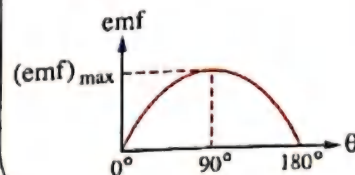
طول السلك :

يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة فى سلك تناسباً طردياً مع طول السلك.

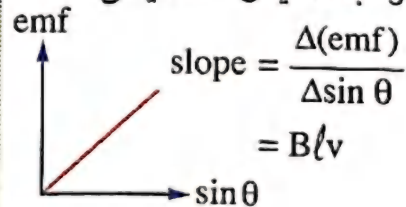


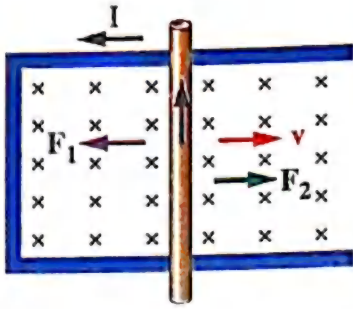
الزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسى :

تمثل العلاقة بين مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة والزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسى بمنحنى جيبى.



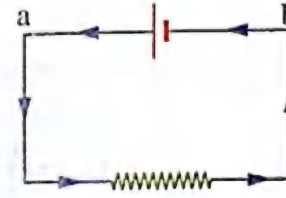
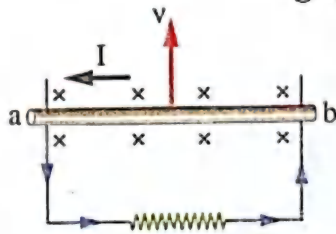
يتناسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة فى سلك تناسباً طردياً مع جيب الزاوية بين اتجاه سرعة السلك واتجاه الفيض المغناطيسى.





\* عند تحريك سلك بسرعة منتظمة ( $v$ ) عمودياً على مجال مغناطيسي تتولد بين طرفي السلك  $emf$  مستحثة ينشأ عنها تيار كهربى مستحث فى السلك فتنشأ قوة مغناطيسية ( $F_1$ ) عمودية على كل من التيار المستحث والمجال الخارجى، وللحفاظ على حركة السلك بسرعة منتظمة ينبغى أن تتساوى القوة المؤثرة (المحركة) على السلك ( $F_2$ ) مع القوة المغناطيسية التى تنشأ عن التيار ( $F_1$ ).

\* عندما يتحرك موصل فى دائرة مغلقة بحيث يقطع خطوط مجال مغناطيسي يتولد بين طرفي الموصل قوة دافعة كهربية مستحثة أى يعمل الموصل كمصدر للتيار المار فى الدائرة فيكون جهد النقطة  $a$  أكبر من جهد النقطة  $b$



### مثال ١

دائرة كهربية تتكون من سلكين سميكين متوازيين المسافة بينهما  $75 \text{ cm}$  ومقاومة مقدارها  $2 \Omega$  وضع قضيب معدنى عمودياً على السلكين المتوازيين بحيث يغلق هذه الدائرة، فإذا كانت المساحة المحصورة بين السلكين عمودية على فيض مغناطيسي كثافته  $0.18 \text{ T}$ ، احسب قيمة القوة اللازمة لتحريك القضيب المعدنى بسرعة ثابتة مقدارها  $1 \text{ m/s}$

الحل

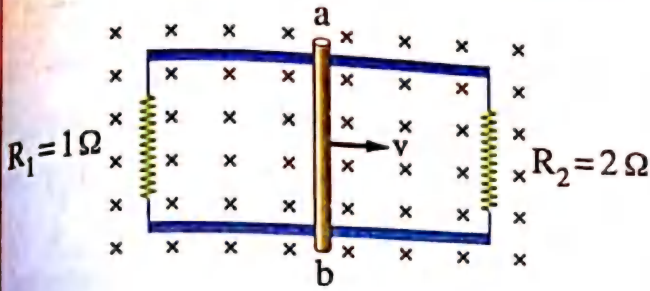
$$l = 75 \times 10^{-2} \text{ m} \quad R = 2 \Omega \quad B = 0.18 \text{ T} \quad v = 1 \text{ m/s} \quad F = ?$$

$$emf = -Blv = -0.18 \times 75 \times 10^{-2} \times 1 = -0.135 \text{ V}$$

$$I = \frac{emf}{R} = \frac{0.135}{2} = 0.0675 \text{ A}$$

$$F = BIl = 0.18 \times 0.0675 \times 75 \times 10^{-2} = 9.11 \times 10^{-3} \text{ N}$$

مثال 2



في الشكل المقابل قضيب معدني  
ab طوله 25 cm ويتحرك عمودياً  
على مجال مغناطيسي كثافة فيضه  
1 T بسرعة 2 m/s، احسب شدة  
التيار المار في كل من المقاومتين  
 $R_1$ ،  $R_2$  والقضيب ab

الحل

$$l = 25 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$B = 1 \text{ T}$$

$$R_1 = 1 \Omega$$

$$R_2 = 2 \Omega$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

$$I = ?$$

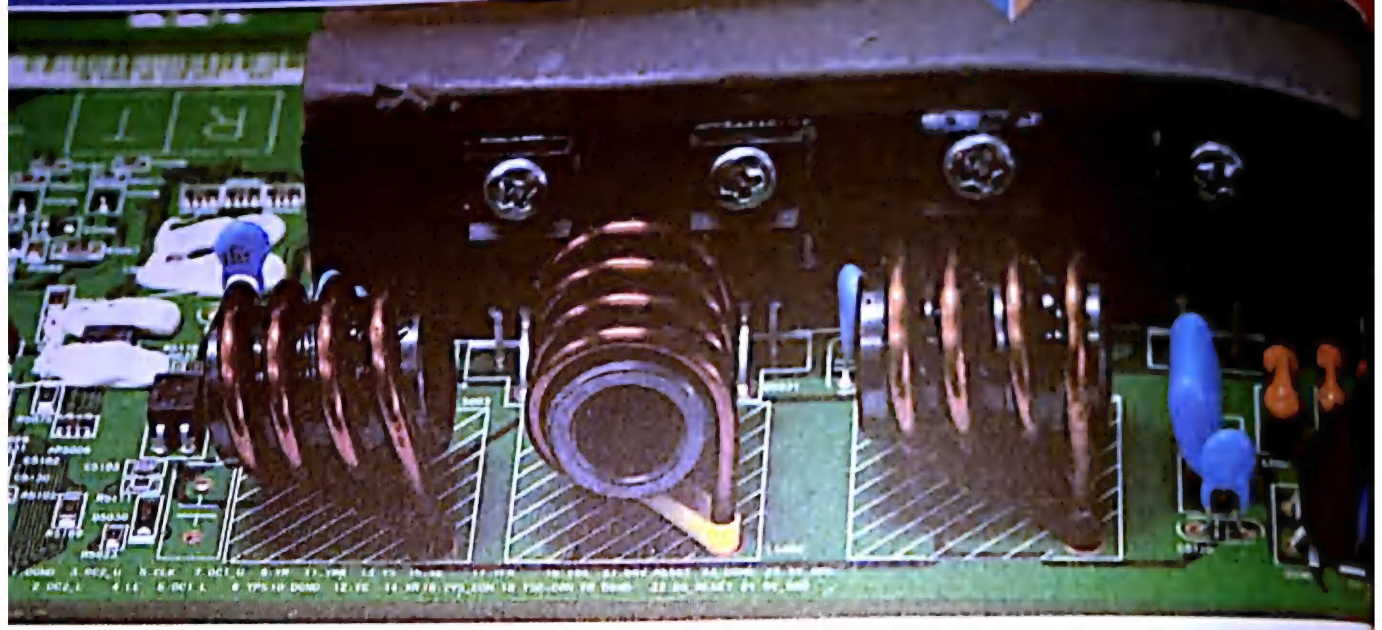
$$\text{emf} = -Blv = -1 \times 25 \times 10^{-2} \times 2 = -0.5 \text{ V}$$

$$I_1 = \frac{\text{emf}}{R_1} = \frac{0.5}{1} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{\text{emf}}{R_2} = \frac{0.5}{2} = 0.25 \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2 = 0.5 + 0.25 = 0.75 \text{ A}$$



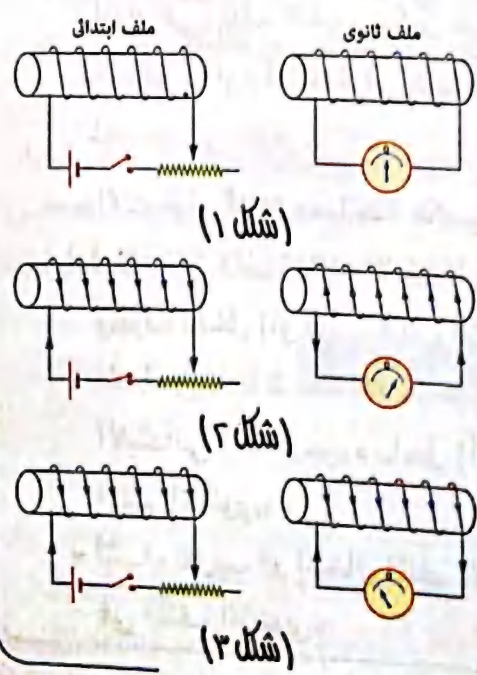


### الحث المتبادل بين ملفين Mutual Induction

\* إذا وضع ملفين أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر فإن تغير شدة التيار الكهربى فى أحد الملفين يولد قوة دافعة كهربية مستحثة فى الملف الآخر ويطلق على هذه الظاهرة الحث المتبادل بين ملفين، ويمكن التحقق منها عملياً من خلال إجراء التجربة التالية :

#### تجربة لدراسة الحث المتبادل بين ملفين

##### الخطوات والملاحظات :



- ١ وصل ملف ببطارية ومفتاح وريوستات (الملف الابتدائى) ووصل ملف آخر بجلقانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف (الملف الثانوى) (شكل ١).
- ٢ اغلق دائرة الملف الابتدائى أثناء وجود الملف الابتدائى داخل أو بالقرب من الملف الثانوى. **الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين (شكل ٢).
- ٣ افتح دائرة الملف الابتدائى أثناء وجود الملف الابتدائى داخل أو بالقرب من الملف الثانوى. **الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد (شكل ٣).

٤ اغلق دائرة الملف الابتدائى ثم قم بزيادة شدة التيار الكهربى المار فيه بإنقاص مقاومة الريوستات.

**الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين.

٥ انقص شدة التيار المار فى الملف الابتدائى بزيادة مقاومة الريوستات.

**الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد.

٦ ابعد الملف الابتدائى عن الملف الثانوى.

**الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين.

٧ قرب الملف الابتدائى من الملف الثانوى.

**الملاحظة:** ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الاتجاه المضاد.

#### الاستنتاج :

يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار مستحث فى ملف ثانوى بتأثير ملف آخر ابتدائى، حيث تتولد :

#### قوة دافعة كهربية مستحثة طردية وتيار مستحث طردى

- عند تناقص شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى فإن المجال المغناطيسى المستحث فى الملف الثانوى والناشئ عن التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف الثانوى يكون فى نفس الاتجاه ليقاوم النقص فى شدة المجال المغناطيسى المؤثر.

#### - حالات تولد emf مستحثة طردية :

- لحظة فتح دائرة الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.
- أثناء إنقاص شدة التيار فى الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.
- أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائى من الملف الثانوى.

#### قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية وتيار مستحث عكسى

- عند زيادة شدة المجال المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى فإن المجال المغناطيسى المستحث فى الملف الثانوى والناشئ عن التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف الثانوى يكون فى اتجاه مضاد ليقاوم الزيادة فى شدة المجال المغناطيسى المؤثر.

#### - حالات تولد emf مستحثة عكسية :

- لحظة غلق دائرة الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.
- أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى أثناء وجوده داخل (أو قرب) الملف الثانوى.
- أثناء تقريب أو إدخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى.



\* مما سبق يمكن تعريف الحث المتبادل بين ملفين كالتالى :

**الحث المتبادل بين ملفين**

**التأثير الكهرومغناطيسى الحادث بين ملفين متجاورين أو متداخلين يمر بأحدهما تيار متغير فيؤثر به الملف الثانى ويتولد فيه تيار مستحث يقاوم التغير الحادث فى الملف الأول.**

### حساب معامل الحث المتبادل بين ملفين

\* عند تغير شدة التيار فى الملف الابتدائى بمعدل زمنى  $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$  يتولد فى الملف الثانوى  $(emf)_2$

مستحثة تتناسب طردياً مع معدل التغير فى الفيض المغناطيسى المار به :  $(emf)_2 \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$

$$\therefore \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad \therefore (emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 = \text{constant} \times \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

حيث : (M) معامل الحث المتبادل بين ملفين.

(تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها «قاعدة لنز»)

$$\therefore M = \frac{(emf)_2}{\Delta I_1 / \Delta t}$$

\* وحدة قياس معامل الحث المتبادل هى الهنرى (H) وتكافئ قولت. ثانية/أمبير (V.s/A).

\* مما سبق يمكن تعريف كل من معامل الحث المتبادل بين ملفين والهنرى كالتالى :

**الهنرى**

**معامل الحث المتبادل بين ملفين (M)**

معامل الحث المتبادل بين ملفين إذا تغيرت شدة تيار أحدهما بمعدل 1 أمبير كل ثانية فيتولد بالحث بين طرفى الملف الآخر emf مستحثة مقدارها 1 قولت.

مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة فى أحد الملفين عند تغير شدة تيار الملف الآخر بمعدل 1 أمبير كل ثانية.

### العوامل التى يتوقف عليها معامل الحث المتبادل بين ملفين

1 معامل النفاذية المغناطيسية للوسط.

2 حجم الملفين (طول الملف، مساحة اللفة).

3 عدد لفات الملفين.

4 المسافة الفاصلة بين الملفين.

## مثال

ملفان متجاوران  $x$  ،  $y$  معامل الحث المتبادل بينهما  $0.2 \text{ H}$  وشدة التيار المار في الملف  $x$  تساوي  $4 \text{ A}$ ، فإذا انعدمت شدة التيار في هذا الملف في زمن قدره  $0.01 \text{ s}$ ، احسب متوسط القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في الملف  $y$

## الحل

$$M = 0.2 \text{ H} \quad (I_x)_1 = 4 \text{ A} \quad (I_x)_2 = 0 \quad \Delta t = 0.01 \text{ s} \quad (\text{emf})_y = ?$$

$$(\text{emf})_y = -M \frac{\Delta I_x}{\Delta t} = -0.2 \times \frac{0 - 4}{0.01} = 80 \text{ V}$$

## إرشاد

\* يمكن تعيين معامل الحث المتبادل بين ملفين في حالة عدم إعطاء الزمن كالتالي :

$$\therefore (\text{emf})_2 = -N_2 \frac{(\Delta \phi_m)_2}{\Delta t} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore M \Delta I_1 = N_2 (\Delta \phi_m)_2$$

## مثال

ملفان متجاوران  $X$  ،  $Y$  عدد لفات الملف  $Y$  هو  $1500$  لفة، فإذا مر تيار شدته  $5 \text{ A}$  في الملف  $X$  نتج عنه فيض  $3 \times 10^{-3} \text{ Wb}$  في الملف  $Y$ ، احسب معامل الحث المتبادل بين الملفين.

## الحل

$$N_Y = 1500 \quad \Delta I_X = 5 \text{ A} \quad (\Delta \phi_m)_Y = 3 \times 10^{-3} \text{ Wb} \quad M = ?$$

$$M \Delta I_X = N_Y (\Delta \phi_m)_Y$$

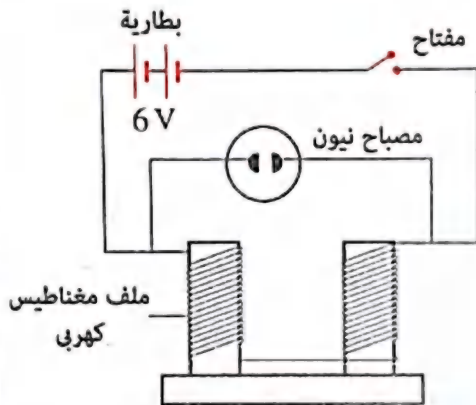
$$M \times 5 = 1500 \times 3 \times 10^{-3}$$

$$M = 0.9 \text{ H}$$

\* إذا وصل ملف فى دائرة كهربية فإن تغير شدة التيار الكهربى فى هذا الملف يسبب تولد قوة دافعة مستحثة فيه تقاوم هذا التغير ويطلق على هذه الظاهرة الحث الذاتى للملف، ويمكن التحقق منها من خلال إجراء التجربة التالية :

### تجربة لدراسة الحث الذاتى للملف

الخطوات والملاحظات :



١ وصل ملف مغناطيس كهربى قوى (عدد لفاته كبير) على التوالى مع بطارية (6 V) ومفتاح، ومصباح نيون (يعمل بجهد يصل إلى 180 V) على التوازى بين طرفى الملف.

٢ اغلق الدائرة ليمر تيار كهربى فى الملف.

**الملاحظة :** عدم توهج مصباح النيون.

**التفسير :** لأن نمو التيار يؤدي لتولد قوة دافعة مستحثة عكسية صغيرة بين طرفى الملف فيكون فرق الجهد بين طرفى المصباح أقل من فرق الجهد اللازم لتشغيله.

٢ افتح الدائرة.

**الملاحظة :** مرور شرر كهربى بين طرفى المفتاح وتوهج مصباح النيون لفترة صغيرة جداً.

**التفسير :** لأن اضمحلال التيار يؤدي إلى تولد emf مستحثة طردية كبيرة نسبياً بين طرفى الملف بالحث الذاتى نظراً لكبر عدد لفات الملف ( $emf \propto N$ ) وكبر المعدل الزمنى للتغير فى شدة التيار ( $emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$ ) فينشأ تيار مستحث طردى فى نفس اتجاه التيار الأسمى يمر على شكل شرر كهربى بين طرفى المفتاح.

\* مما سبق يمكن تعريف الحث الذاتى للملف كالتالى :

### الحث الذاتى للملف

التأثير الكهرومغناطيسى الحادث فى نفس الملف عند تغير شدة التيار المار فيه بحيث يقاوم هذا التغير.

### ملاحظات

- \* في تجربة الحث الذاتي تكون القوة الدافعة الكهربائية المستحثة الطردية في الملف أكبر دائماً من القوة الدافعة الكهربائية المستحثة العكسية المتولدة فيه،  
**لأن** معدل انهيار التيار الأصلي أكبر من معدل نمو التيار في هذه الحالة.
- \* لا تصل شدة التيار إلى القيمة العظمى في الملف لحظة غلق الدائرة كما لا ينعدم التيار لحظة فتح الدائرة،  
**لتولد** emf مستحثة عكسية لحظة الغلق تؤخر لحظة وصول التيار للقيمة العظمى وتولد emf مستحثة طردية لحظة فتح الدائرة تؤخر انهيار التيار.
- \* نمو التيار في سلك مستقيم أسرع من نموه في ملف لحظة غلق الدائرة،  
**لأن** السلك المستقيم لا يتولد بين طرفيه emf مستحثة لحظة نمو التيار حيث إن المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربى في السلك لا يقطع السلك نفسه، أما في حالة الملف فإن نمو الفيض القاطع له يولد emf مستحثة عكسية تعمل على إطالة زمن نمو التيار فيه.
- \* تُلَف أسلاك المقاومات القياسية لفًا مزدوجًا،  
**لتلافي** تأثير الحث الذاتى في الأسلاك حيث يلغى المجال الناتج عن مرور التيار في أى لفة المجال الناتج عن مرور التيار في اللفة المجاورة لها.

### حساب معامل الحث الذاتى للملف

\* عند تغير شدة التيار المار في ملف بمعدل  $\frac{\Delta I}{\Delta t}$  يتولد في الملف بالحث الذاتى emf مستحثة تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير الفيض المغناطيسى :

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

∴ المعدل الزمنى للتغير في الفيض يتناسب طردياً مع المعدل الزمنى للتغير في التيار :

$$\frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf \propto \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\therefore emf = \text{constant} \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث : (L) معامل الحث الذاتى للملف.

(تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها «قاعدة لنز»).

$$\therefore L = \frac{emf}{\Delta I / \Delta t}$$



• وحدة قياس معامل الحث الذاتي هي الهنري.

• مما سبق يمكن تعريف كل من معامل الحث الذاتي للملف والهنري كالتالي :

معامل الحث الذاتي للملف (L)

مقدار القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة بين طرفي الملف عندما تتغير شدة التيار فيه بمعدل 1 أمبير كل ثانية.

الهنري

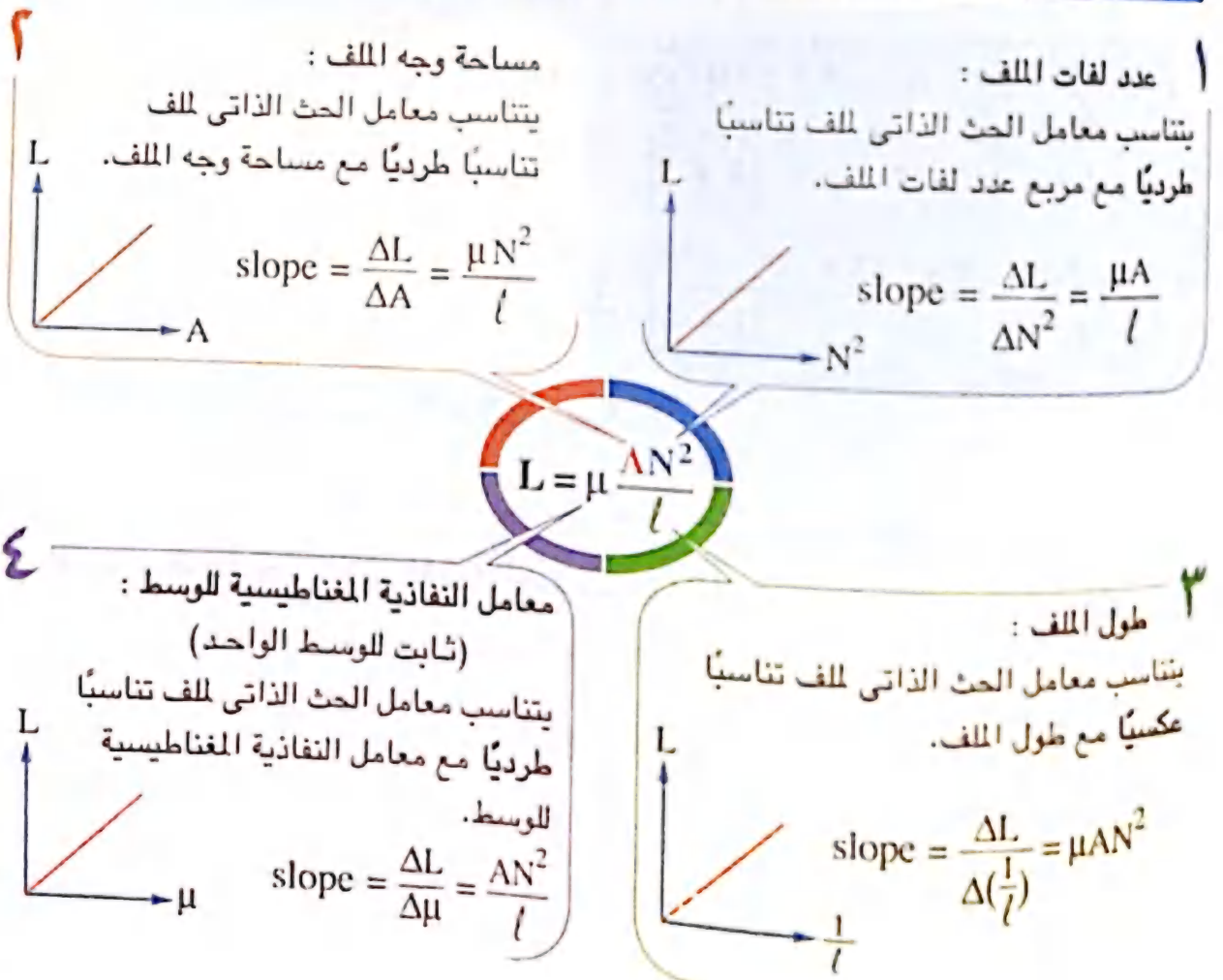
معامل الحث الذاتي للملف إذا تغيرت شدة التيار فيه بمعدل 1 أمبير كل ثانية فيتولد بين طرفيه بالحث emf مستحثة مقدارها 1 فولت.

$$L = \frac{\mu AN^2}{l}$$

• يمكن حساب معامل الحث الذاتي للملف من العلاقة :

حيث : ( $\mu$ ) معامل النفاذية المغناطيسية للوسط، ( $A$ ) مساحة وجه الملف، ( $N$ ) عدد لفات الملف، ( $l$ ) طول الملف.

### العوامل التي يتوقف عليها معامل الحث الذاتي للملف



مثال ١

احسب معامل الحث الذاتي للملف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار فيه بمعدل 40 A/s

الحل

$$\text{emf} = 10 \text{ V} \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = 40 \text{ A/s} \quad L = ?$$

$$L = \frac{\text{emf}}{\Delta I / \Delta t} = \frac{10}{40} = 0.25 \text{ H}$$

مثال ٢

ملف حلزوني طوله 31.4 cm وعدد لفاته 1000 لفة ومساحة كل لفة من لفاته  $20 \text{ cm}^2$ . احسب معامل الحث الذاتي له  
(علماً بأن : معامل النفاذية المغناطيسية للهواء  $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$  ،  $\pi = 3.14$ ).

الحل

$$l = 31.4 \times 10^{-2} \text{ m} \quad N = 1000 \quad A = 20 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \quad L = ?$$

$$L = \frac{\mu AN^2}{l} = \frac{4 \times 3.14 \times 10^{-7} \times 20 \times 10^{-4} \times (1000)^2}{31.4 \times 10^{-2}} \\ = 8 \times 10^{-3} \text{ H}$$

مثال ٣

ملف حث معامل حثه الذاتي 0.02 H ومقاومته  $12 \Omega$  يتصل بطرفي بطارية قوتها الدافعة الكهربية 6 V ومقاومتها الداخلية مهملة، احسب :

- معدل نمو التيار في الملف لحظة غلق الدائرة.
- معدل نمو التيار في الملف لحظة وصول التيار إلى 75% من قيمته العظمى.
- شدة التيار المار في دائرة الملف عندما يكون معدل نمو التيار 120 A/s



$$L = 0.02 \text{ H} \quad R = 12 \Omega \quad V_B = 6 \text{ V}$$

(أ) لحظة إغلاق الدائرة تكون شدة التيار المار في الدائرة مساوية للصفر ويكون معدل نمو التيار قيمة عظمى وبالتالي تكون القوة الدافعة الكهربية المستحثة العكسية المتولدة في الدائرة قيمة عظمى وتساوي القوة الدافعة الكهربية للبطارية.

$$I = 0$$

$$\therefore (\text{emf})_{\text{مستحثة}} = V_B = 6 \text{ V}$$

$$(\text{emf})_{\text{مستحثة}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$6 = 0.02 \times \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 300 \text{ A/s}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_B - (\text{emf})_{\text{مستحثة}}}{R}$$

(ب) يتعين التيار المار في الدائرة من العلاقة :

وبالتالي عندما يصل التيار إلى 0.75 من قيمته العظمى تكون  $V$  قيمتها 0.75 من قيمتها العظمى :

$$V = 0.75 V_B = V_B - (\text{emf})_{\text{مستحثة}}$$

$$\therefore (\text{emf})_{\text{مستحثة}} = V_B - 0.75 V_B = 0.25 V_B$$

$$(\text{emf})_{\text{مستحثة}} = \frac{25}{100} V_B = \frac{25}{100} \times 6 = 1.5 \text{ V}$$

$$(\text{emf})_{\text{مستحثة}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$1.5 = 0.02 \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = 75 \text{ A/s}$$

$$(\text{emf})_{\text{مستحثة}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -0.02 \times 120 = -2.4 \text{ V}$$

(ج)

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_B - (\text{emf})_{\text{مستحثة}}}{R} = \frac{6 - 2.4}{12} = 0.3 \text{ A}$$

## إرشاد

\* يمكن تعيين معامل الحث الذاتي للملف في حالة عدم إعطاء الزمن كالتالى :

$$\therefore \text{emf} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$\therefore L \Delta I = N \Delta \phi_m$$

## مثال

ملفان متجاوران A ، B عدد لفاتهما 100 لفة، 200 لفة على الترتيب فإذا مر تيار شدته 2 A فى الملف A نتج عنه فيض فى نفس الملف B  $3 \times 10^{-4}$  Wb وفى الملف B فيض  $1.5 \times 10^{-5}$  Wb ، أوجد :

(أ) معامل الحث الذاتي للملف A

(ب) معامل الحث المتبادل بين الملفين.

(ج) متوسط emf فى الملف B عندما ينعدم التيار فى الملف A فى 0.1 s

## الحل

$$N_A = 100 \quad N_B = 200 \quad \Delta I_A = 2 \text{ A} \quad (\Delta \phi_m)_A = 3 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$(\Delta \phi_m)_B = 1.5 \times 10^{-5} \text{ Wb} \quad L_A = ? \quad M = ? \quad (\text{emf})_B = ?$$

$$L_A \Delta I_A = N_A (\Delta \phi_m)_A \quad (1)$$

$$L_A = N_A \frac{(\Delta \phi_m)_A}{\Delta I_A} = \frac{100 \times 3 \times 10^{-4}}{2} = 1.5 \times 10^{-2} \text{ H}$$

$$M \Delta I_A = N_B (\Delta \phi_m)_B \quad (ب)$$

$$M = N_B \frac{(\Delta \phi_m)_B}{\Delta I_A} = \frac{200 \times 1.5 \times 10^{-5}}{2} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$(\text{emf})_B = -M \frac{\Delta I_A}{\Delta t} = \frac{-1.5 \times 10^{-3} \times (0 - 2)}{0.1} = 0.03 \text{ V} \quad (ج)$$



## إرشاد

\* المقارنة بين معامل الحث الذاتي للملفين عند ثبوت معامل النفاذية :

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{A_1 N_1^2 l_2}{A_2 N_2^2 l_1} = \frac{r_1^2 N_1^2 l_2}{r_2^2 N_2^2 l_1}$$

## مثال

ملفا حث طولهما 125 cm ، 100 cm وعدد لفاتهما 5 لفات و 8 لفات على الترتيب ونصف قطر وجهيهما 4 cm ، 2 cm على الترتيب،  
احسب النسبة بين معامل الحث الذاتي لهما.

## الحل

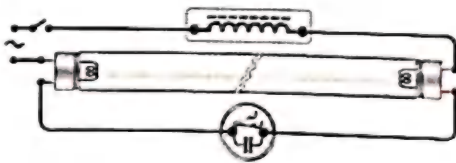
$$l_1 = 125 \text{ cm} \quad l_2 = 100 \text{ cm} \quad N_1 = 5 \quad N_2 = 8 \quad r_1 = 4 \text{ cm}$$

$$r_2 = 2 \text{ cm} \quad \frac{L_1}{L_2} = ?$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{r_1^2 N_1^2 l_2}{r_2^2 N_2^2 l_1} = \frac{(4)^2 \times (5)^2 \times 100}{(2)^2 \times (8)^2 \times 125} = \frac{5}{4}$$

## تطبيق على الحث الذاتي لملف

### مصباح الفلورسنت

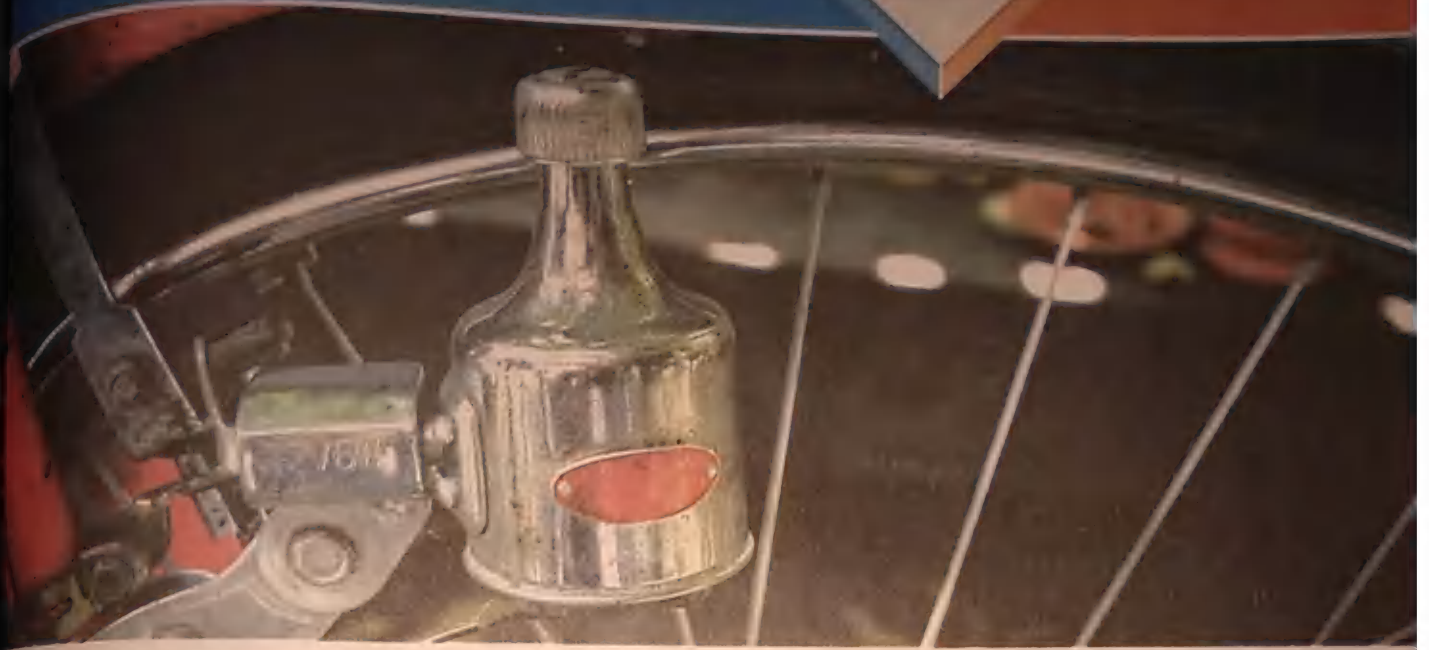


الاستخدام : في الإضاءة.

### شرح الفكرة العلمية :

يتم تفريغ الطاقة المغناطيسية المختزنة في ملف حث في أنبوبة مفرغة من الهواء وبها غاز خامل تحت ضغط منخفض، مما يسبب تصادمات بين ذراته تؤدي إلى تأينها وعند اصطدام هذه الأيونات مع سطح الأنبوبة المغطى بمادة فلورسنتية ينبعث ضوء مرئي.

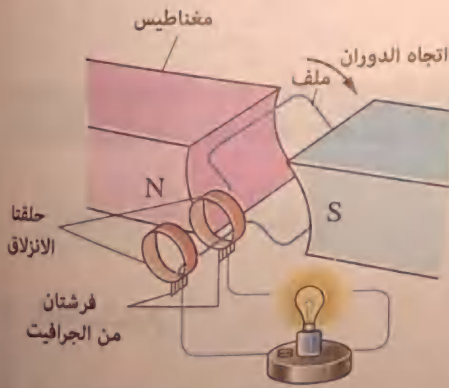




### مولد التيار الكهربى المتردد (الدينامو) AC Generator

**الاستخدام :** تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربية.

#### التركيب :



١ مغناطيس ثابت (دائم أو كهربى).

٢ ملف يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات موضوع بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال.

٣ حلقتا انزلاق معدنيتان تتصل كل منهما بإحدى نهايتى الملف وتدوران مع دوران الملف.

٤ فرشتان من الجرافيت (قطبا الدينامو) تلامس كل منهما إحدى الحلقتين المنزلقتين ليمر التيار الكهربى المستحث فى الملف من خلالهما للدائرة الخارجية.

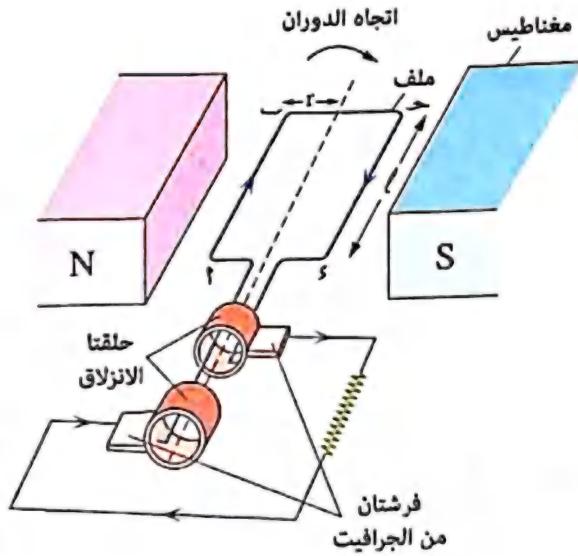
**الأساس العلمى (فكرة العمل) :** الحث الكهرومغناطيسى.

#### شرح فكرة العمل :

عند دوران ملف بين قطبى المغناطيس يتغير الفيض المغناطيسى المقطوع بواسطة الملف مع الزمن فتتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة والتيار الكهربى مستحث.



## حساب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة اللحظية المتولدة في ملف الدينامو



\* عند دوران مستوى الملف بسرعة زاوية  $\omega$  يدور الضلعان ١ و ٢، جزء الممثلان لطولي الملف بسرعة خطية  $v$  في فيض مغناطيسي كثافته  $B$ ، فإذا كانت الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية وخطوط الفيض هي  $\theta$  فإن  $emf$  المستحثة المتولدة في تلك اللحظة في كل من الضلعين

$$emf = B l v \sin \theta \text{ هي}$$

حيث:  $l$  طول الضلع ١ أو ٢  
بينما الضلعان ٣ و ٤ لا تتولد فيهما  $emf$  مستحثة لأن اتجاه سرعة السلكين دائماً موازى لاتجاه المجال المغناطيسى،

$$emf = 2 B l v \sin \theta$$

وبالتالى تصبح  $emf$  المستحثة المتولدة في اللفة الواحدة :

$$\therefore v = \omega r$$

حيث:  $\omega$  السرعة الزاوية وتساوى  $(2 \pi f)$  وتقاس بوحدة  $(\text{rad/s})$ ،  $f$  تردد دوران الملف،  $r$  نصف قطر الدائرة التى يدور فيها الملف حول محوره (نصف طول الضلع ١ أو ٢).

$$\therefore emf = 2 B l \omega r \sin \theta$$

$$\therefore A (\text{مساحة وجه الملف}) = l \times 2 r$$

$$\therefore emf = BA \omega \sin \theta$$

وعندما يكون عدد لفات الملف  $N$  تكون  $emf$  اللحظية :

$$emf = NBA \omega \sin \theta$$

## فإذا كان

- مستوى الملف موازى لخطوط الفيض فإن العمودى على الملف يكون عمودياً على المجال ( $\theta = 90^\circ$ ) :

$$emf = NBA\omega \sin 90 = NBA\omega$$

- مستوى الملف عمودى على خطوط الفيض فإن العمودى على الملف يكون موازياً للمجال ( $\theta = 0^\circ$ ) :

$$emf = NBA\omega \sin 0 = 0$$

## أى

- تصبح القوة الدافعة الكهربائية المستحثة قيمة عظمى.

- تنعدم القوة الدافعة الكهربائية المستحثة.

\* مما سبق يتضح أنه يمكن تعيين  $emf$  المستحثة اللحظية بدلالة  $(emf)_{\max}$  كالتالى :

$$emf = (emf)_{\max} \sin \theta$$

$$= NBA\omega \sin \theta = NBA\omega \sin \omega t$$

$$= NBA \times 2 \pi f \sin 2 \pi ft$$

$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$\frac{22}{7} \quad 180^\circ$$

$$\therefore emf = (emf)_{\max} \sin 2 \pi ft$$

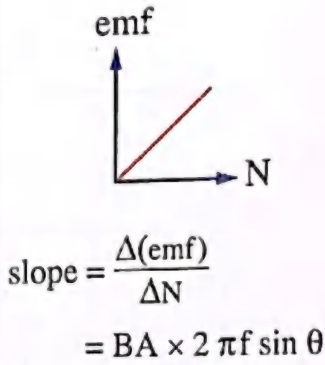
حيث ( $\theta$ ) هى :

- ١ الزاوية المحصورة بين مستوى الملف والعمودى على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
- ٢ الزاوية المحصورة بين اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى والعمودى على مستوى الملف.
- ٣ الزاوية المحصورة بين اتجاه السرعة الخطية للضلعين الطولين للملف واتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
- ٤ زاوية دوران الملف مبتدئاً من وضع الصفر.

# العوامل التي يتوقف عليها مقدار emf المستحثة في ملف ديانمو التيار المتردد

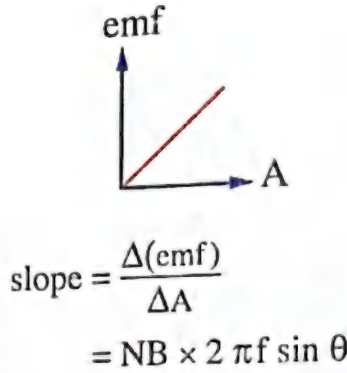
٣

عدد لفات الملف :  
يتناسب مقدار emf المستحثة  
اللحظية تناسباً طردياً مع  
عدد لفات الملف.



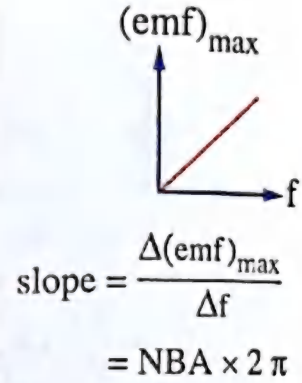
مساحة وجه الملف :

يتناسب مقدار emf  
المستحثة اللحظية تناسباً  
طردياً مع مساحة وجه  
الملف.



التردد أو السرعة الزاوية

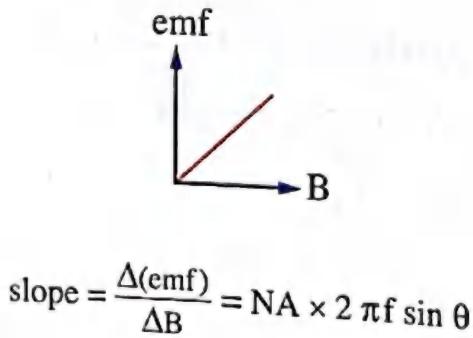
التي يتحرك بها الملف :  
يتناسب مقدار emf المستحثة  
الغضمية تناسباً طردياً مع  
التردد أو السرعة الزاوية  
التي يتحرك بها الملف.



$$\text{emf} = NBA \times 2 \pi f \sin \theta$$

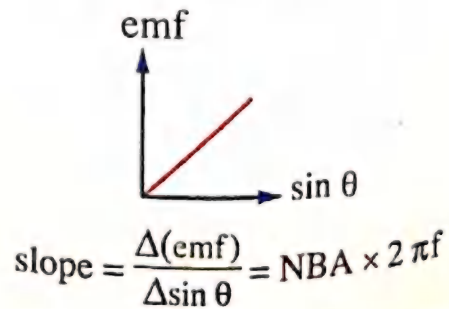
٥

كثافة الفيض المغناطيسي للمغناطيس  
المستخدم :  
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية  
تناسباً طردياً مع كثافة الفيض  
المغناطيسي للمغناطيس المستخدم.



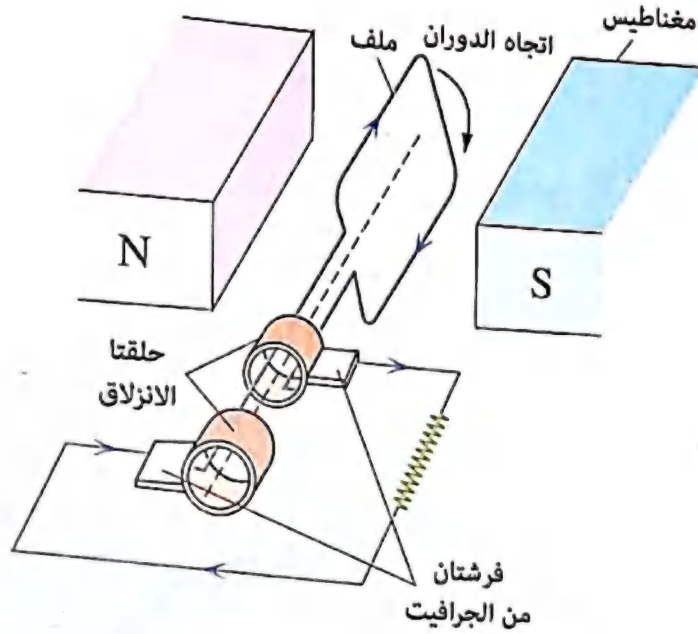
٤

انزاوية بين العمودي على مستوى الملف  
والفيض المغناطيسي أو الزاوية بين اتجاه  
السرعة الخطية واتجاه الفيض :  
يتناسب مقدار emf المستحثة اللحظية تناسباً  
طردياً مع جيب الزاوية بين العمودي على مستوى  
الملف والفيض المغناطيسي أو جيب الزاوية بين  
اتجاه السرعة اللحظية واتجاه الفيض.



## القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في المولد خلال دورة كاملة

- ١ عندما يدور الملف بين قطبي المغناطيس مبتدئاً من الوضع الذى يكون فيه مستواه عمودى على خطوط الفيض ( $\theta = 0^\circ$ ) كما بالشكل التالى :



يكون  $emf = (emf)_{\max} \sin 0 = 0$  وبالتالي ينعدم كل من  $emf$  المستحثة وشدة التيار المستحث.

- ٢ عندما يدور الملف تزداد قيمة  $emf$  تدريجياً حتى يصبح مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض تصبح  $emf$  قيمة عظمى وكذلك شدة التيار المستحث.

- ٣ باستمرار دوران الملف حتى يصبح مستواه عمودياً على خطوط الفيض مرة أخرى تقل قيمة  $emf$  حتى تنعدم تدريجياً وكذلك شدة التيار المستحث.

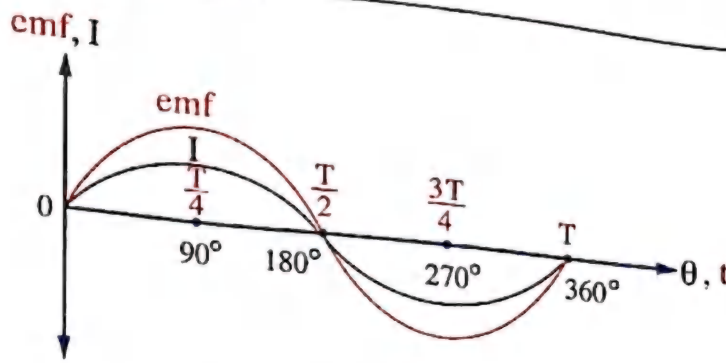
- ٤ تتكرر الخطوة ٢ ثم الخطوة ٣ ولكن يكون اتجاه كل من  $emf$  المستحثة والتيار المستحث فى عكس الاتجاه الأول، وبذلك يتم الملف دورة كاملة خلال زمن قدره  $T$  ويمكن تمثيل ذلك بمنحنى جيبى كما يلى :



وضع الملف	القوة الدافعة الكهربائية المستحثة	التمثيل البياني
$t = 0$	صفر	
$t = \frac{T}{4}$	قيمة عظمى	
$t = \frac{T}{2}$	صفر	
$t = \frac{3T}{4}$	قيمة عظمى (فى الاتجاه المضاد)	
$t = T$	صفر	

مما سبق نستنتج ان :

- القوة الدافعة المستحثة تتغير جيبيًا مع الزاوية  $\theta$  (كما بالشكل)، حيث :
- تكون قيمة عظمى عند  $(\theta = 90^\circ, 270^\circ)$ .
- تنعدم عند  $(\theta = 0^\circ, 180^\circ, 360^\circ)$ .



التيار المستحث يساوى صفر عندما تكون (emf = 0)، ويكون قيمة عظمى عندما تكون emf قيمة عظمى ويرجع ذلك إلى أن التيار المستحث يتناسب طردياً مع القوة الدافعة المستحثة، وبالتالي فإن التيار المستحث اللحظى يحسب من العلاقة :

$$I = I_{\max} \sin \theta = I_{\max} \sin 2 \pi f t$$

- عدد مرات وصول التيار المتردد للصفر خلال الثانية بدءاً من وضع الصفر =  $2f + 1$
- عدد مرات وصول التيار المتردد لقيمة عظمى خلال الثانية بدءاً من الوضع العمودى =  $2f$
- التيار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، ويعرف بالتيار المتردد.

### التيار المتردد

التيار الذى تتغير شدته دورياً من الصفر إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر فى نصف دورة ثم ينعكس اتجاهه وتزداد شدته إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر فى نصف الدورة الثانى ويتكرر ذلك بنفس الكيفية كل دورة.

\* من الشكل البيانى السابق نجد أن التيار المتردد :

- يصنع خلال الثانية الواحدة عدد من الذبذبات (الدورات)

الكاملة يطلق عليها التردد (f)، ويتعين من العلاقة :

ووحدة قياس التردد هى هيرتز (Hz) ويكافئ ثانية<sup>-1</sup>

- يستغرق زمن لعمل ذبذبة كاملة يطلق عليه الزمن الدورى (T)،

ويتعين من العلاقة :

$$T = \frac{\text{الزمن الكلى}}{\text{عدد الدورات}} = \frac{1}{f}$$

\* من هنا يمكن تعريف كل من تردد التيار المتردد والزمن الدورى كالتالى :

### الزمن الدورى (T)

الزمن الذى يستغرقه التيار المتردد فى عمل ذبذبة (دورة) كاملة.

### التردد (f)

عدد الذبذبات (الدورات) الكاملة التى يصنعها التيار المتردد فى الثانية الواحدة.



## ملاحظات

- \* يختلف تردد التيار من بلد لآخر، فتردد التيار المستخدم في مصر هو 50 Hz
- \* يمكن تعيين القوة الدافعة الكهربائية المستحثة اللحظية بدلالة السرعة الخطية لحركة الضلعين الطولين ملف الدينامو من العلاقة :

$$emf = 2 NBlv \sin \theta$$

حيث : (l) طول ضلع ملف الدينامو، (v) السرعة الخطية ملف الدينامو.

## مثال ١

ملف في مولد كهربى بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها  $0.21 \text{ m}^2$  يدور الملف بتردد 50 دورة في الثانية فى مجال مغناطيسى ثابت كثافة فيضه  $10^{-3} \text{ weber/m}^2$  ، **احسب** القيمة العظمى للقوة الدافعة المستحثة، ثم **احسب** قيمة القوة الدافعة المستحثة عندما تكون الزاوية بين اتجاه السرعة الخطية واتجاه الفيض  $30^\circ$

## الحل

$N = 100$	$A = 0.21 \text{ m}^2$	$f = 50 \text{ Hz}$	$B = 10^{-3} \text{ weber/m}^2$
$\theta = 30^\circ$	$(emf)_{\max} = ?$	$emf = ?$	

$$(emf)_{\max} = NBA\omega = NBA \times 2\pi f$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = 6.6 \text{ V}$$

$$emf = (emf)_{\max} \sin \theta = 6.6 \times \sin 30 = 3.3 \text{ V}$$

## مثال ٢

دينامو تيار متردد ملفه مستطيل الشكل طوله 50 cm وعرضه 30 cm وعدد لفاته 400 لفة يدور بمعدل 360 دورة في الدقيقة داخل مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.25 T، فإذا كان ضلعا الملف الطويلان يدوران حول محور موازى لطوله بسرعة خطية 4 m/s ، **احسب** :

- القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة.
- قيمة القوة الدافعة الكهربائية اللحظية عند ميل اتجاه السرعة الخطية للملف بزاوية  $45^\circ$  على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسى.
- قيمة القوة الدافعة الكهربائية اللحظية بعد مرور  $\frac{1}{720}$  ثانية من وضع الصفر.

## الحل

$l = 50 \text{ cm}$

$r = 15 \text{ cm}$

$N = 400$

$f = \frac{360}{60} \text{ Hz}$

$B = 0.25 \text{ T}$

$v = 4 \text{ m/s}$

$\theta = 45^\circ$

$t = \frac{1}{720} \text{ s}$

$(\text{emf})_{\text{max}} = ?$

$\text{emf} = ?$

$(\text{emf})_{\text{max}} = 2NBlv$

(1)

$= 2 \times 400 \times 0.25 \times 50 \times 10^{-2} \times 4 = 400 \text{ V}$

$\text{emf} = (\text{emf})_{\text{max}} \sin \theta = 400 \sin 45 = 282.84 \text{ V}$

(ب)

$\text{emf} = (\text{emf})_{\text{max}} \sin 2\pi ft = 400 \sin \left( 2 \times 180 \times \frac{360}{60} \times \frac{1}{720} \right)$

(ج)

$= 20.93 \text{ V}$

\* بفرض أن الفيض المغناطيسي الذي يقطع الملف في الوضع العمودي الابتدائي يساوي (+BA) ،  
تتعين القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتوسطة في ملف الدينامو إذا أدير الملف :

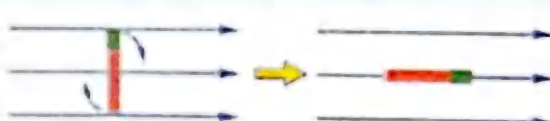
-  $90^\circ$  ( $\frac{1}{4}$  دورة) :

من الوضع الموازي



$\Delta\phi_m = BA - 0 = BA$

من الوضع العمودي



$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$

$\Delta t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f}$

$$(\text{emf})_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{BA}{\frac{1}{4f}}$$

$$= -NBA \times 4f$$

$$(\text{emf})_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{-BA}{\frac{1}{4f}}$$

$$= NBA \times 4f$$

-  $180^\circ$  ( $\frac{1}{2}$  دورة) :

من الوضع الموازي



من الوضع العمودي





فان

$$\Delta\phi_m = 0$$

$$\Delta\phi_m = -BA - BA = -2BA$$

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{0}{\frac{1}{2f}} = 0$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{-2BA}{\frac{1}{2f}} = NBA \times 4f$$

270° (3/4 دورة) :

فان

من الوضع الموازي

من الوضع العمودي

$$\Delta\phi_m = -BA - 0 = -BA$$

$$\Delta\phi_m = 0 - BA = -BA$$

$$\Delta t = \frac{3T}{4} = \frac{3}{4f}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{-BA}{\frac{3}{4f}} = NBA \times \frac{4}{3}f$$

360° (دورة كاملة) :

فان

من الوضع الموازي

من الوضع العمودي

$$\Delta\phi_m = 0$$

$$\Delta t = T = \frac{1}{f}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} = -N \frac{0}{\frac{1}{f}} = 0$$

## مثال

ملف مستطيل لدينامو تيار متردد طوله 30 cm وعرضه 20 cm ، عدد لفاته 100 لفة يدور في مجال مغناطيسي بسرعة 1500 لفة في الدقيقة، فإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي 0.07 T، أوجد،

(أ) قيم القوة الدافعة المستحثة اللحظية في الملف عندما يمر بالأوضاع الآتية :

- ١- مستوى الملف عمودياً على المجال.
- ٢- مستوى الملف موازياً للمجال.
- ٣- مستوى الملف يميل بزاوية 60° على اتجاه المجال.
- ٤- مستوى الملف يميل بزاوية 60° على العمودى على اتجاه المجال.

(ب) مقدار متوسط emf المستحثة خلال :

- ١- ربع دورة عندما يدور الملف من الوضع العمودى.
- ٢-  $\frac{3}{4}$  دورة عندما يدور الملف من الوضع الموازى.

## الحل

$$A = 20 \times 30 = 600 \text{ cm}^2 \quad N = 100 \quad f = \frac{1500}{60} \text{ Hz} \quad B = 0.07 \text{ T}$$

$$emf = ?$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = ?$$

$$emf = NBA\omega \sin \theta = NBA\omega \sin 0 = 0 \quad (1) -1$$

$$emf = (emf)_{\text{max}} = NBA \times 2\pi f \quad -2$$

$$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times 2 \times \frac{22}{7} \times \frac{1500}{60} = 66 \text{ V}$$

$$emf = (emf)_{\text{max}} \sin \theta = 66 \times \sin 30 = 33 \text{ V} \quad -3$$

$$emf = (emf)_{\text{max}} \sin \theta = 66 \sin 60 = 57.16 \text{ V} \quad -4$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = NBA \times 4f \quad (ب) -1$$

$$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times 4 \times \frac{1500}{60} = 42 \text{ V}$$

$$(emf)_{\text{متوسط}} = NBA \times \frac{4}{3}f \quad -2$$

$$= 100 \times 0.07 \times 600 \times 10^{-4} \times \frac{4}{3} \times \frac{1500}{60} = 14 \text{ V}$$



## ملاحظات

• مبتدئاً من وضع الصفر يكون مقدار متوسط القوة الدافعة المستحثة خلال  $\frac{1}{4}$  دورة = متوسط القوة الدافعة المستحثة خلال  $\frac{1}{2}$  دورة.

**لان** متوسط القوة الدافعة الكهربائية خلال  $\frac{1}{4}$  دورة يحسب من العلاقة :

$$(emf)_{\frac{1}{4}} = N \left( \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \right)_{\frac{1}{4}} = N \frac{\phi_m}{\frac{T}{4}}$$

و تضاعف التغير في الفيض المغناطيسى خلال  $\frac{1}{2}$  دورة يقابله تضاعف للزمن الحادث فيه، فيكون معدل التغير في الفيض المغناطيسى

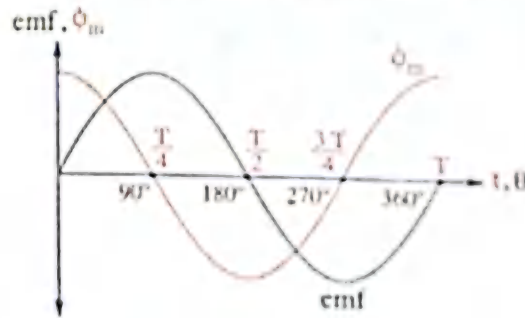
$$(emf)_{\frac{1}{2}} = N \left( \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \right)_{\frac{1}{2}} = N \frac{2 \phi_m}{\frac{T}{2}} = N \frac{\phi_m}{\frac{T}{4}}$$

• متوسط القوة الدافعة خلال دورة كاملة = صفر.

**لان** متوسط القوة الدافعة الكهربائية في النصف الأول للدورة يساوى متوسط القوة الدافعة الكهربائية في النصف الثانى للدورة ويضاده في الاتجاه فتكون محصلتهما = صفر.

• القيمة المتوسطة للتيار المتردد خلال دورة كاملة للملف = صفر.

• تمثل العلاقة البيانية بين كل من القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في ملف الدينامو (emf) أو الفيض المغناطيسى ( $\phi_m$ ) مع الزمن (t) أو الزاوية ( $\theta$ ) خلال دورة كاملة مبتدئاً من وضع الصفر بمنحنى جيبي كما يلي :



## القيمة الفعالة للتيار Effective Current

• تتغير قيمة التيار من  $I_{max}$  إلى  $-I_{max}$  ، وبالتالي تكون القيمة المتوسطة للتيار المتردد خلال دورة كاملة تساوى صفر ( $I_{(متوسط)} = 0$ ) ، بينما القدرة الكهربائية المستنفذة خلال دورة كاملة لا تساوى الصفر.

**لان** الطاقة الكهربائية تستنفذ كطاقة حرارية نتيجة حركة الشحنة الكهربائية داخل الموصل، ويمكن التعبير عن شدة التيار المتردد بقيمة التيار الموحد الاتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى في مقاومة معينة، وهذه القيمة تسمى القيمة الفعالة للتيار ( $I_{eff}$ ) وتساوى 0.707 من القيمة العظمى للتيار.

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0.707 I_{\text{max}}$$

أي أنه :

وبالتالى يمكن تعريف القيمة الفعالة للتيار المتردد كالتالى :

### القيمة الفعالة للتيار المتردد

شدة التيار المستمر الذى يولد نفس الطاقة الحرارية التى يولدها التيار المتردد فى نفس المقاومة وخلال نفس الزمن.

أو

شدة التيار المستمر الذى يولد نفس القدرة الحرارية التى يولدها التيار المتردد فى نفس المقاومة.

\* نظرًا لأن التيار يتناسب طرديًا مع القوة الدافعة الكهربائية، فإن القيمة الفعالة للقوة الدافعة

$$(emf)_{\text{eff}} = \frac{(emf)_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = 0.707 (emf)_{\text{max}}$$

الكهربية تتعين من العلاقة :

وبالتالى يمكن تعريف القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية للتيار المتردد كالتالى :

### القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية للتيار المتردد

فرق الجهد المستمر بين طرفى مقاومة والذى يولد نفس الطاقة الحرارية التى يولدها فرق الجهد المتردد بين طرفى نفس المقاومة خلال نفس الزمن.

أو

فرق الجهد المستمر بين طرفى مقاومة والذى يولد نفس القدرة الحرارية التى يولدها فرق الجهد المتردد بين طرفى نفس المقاومة.

### مثال

إذا كانت شدة التيار الفعال فى دائرة 10 A وفرق الجهد الفعال 240 V، احسب القيمة العظمى لكل من شدة التيار وفرق الجهد.

الحل

$$I_{\text{eff}} = 10 \text{ A}$$

$$(emf)_{\text{eff}} = 240 \text{ V}$$

$$I_{\text{max}} = ?$$

$$(emf)_{\text{max}} = ?$$

$$I_{\text{eff}} = 0.707 I_{\text{max}}$$

$$10 = 0.707 I_{\text{max}}$$

$$I_{\text{max}} = \frac{10}{0.707} = 14.14 \text{ A}$$

$$(emf)_{\text{eff}} = 0.707 (emf)_{\text{max}}, \quad 240 = 0.707 (emf)_{\text{max}}$$

$$(emf)_{\text{max}} = \frac{240}{0.707} = 339.46 \text{ V}$$

\* لحساب القدرة الكهربائية المستنفذة في مقاومة :

$$P_w = (emf)_{eff} I_{eff} = I_{eff}^2 R = \frac{(emf)_{eff}^2}{R}$$

\* لحساب الطاقة الكهربائية المستنفذة خلال دورة كاملة في مقاومة :

$$W = P_w T = \frac{P_w}{f}$$

مثال

إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية المستحثة الناتجة من دينامو تيار متردد تعطى من العلاقة :  
 $emf = 250 \sin 21600 t$

احسب :

- القيمة العظمى للقوة الدافعة الكهربائية.
- القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية.
- تردد التيار.
- السرعة الزاوية.
- الطاقة الكهربائية المستنفذة في مقاومة  $10 \Omega$  خلال دورة كاملة للدينامو.

الحل

$$(emf)_{max} = 250 V$$

$$(emf)_{eff} = \frac{(emf)_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{250}{\sqrt{2}} = 176.78 V$$

$$\theta = 360 f t = 21600 t$$

$$f = 60 Hz$$

$$\omega = 2 \pi f = 2 \times \frac{22}{7} \times 60 = 377.14 rad/s$$

$$W = \frac{(emf)_{eff}^2 T}{R} = \frac{(176.78)^2 \times \frac{1}{60}}{10} = 52.09 J$$

## تقويم التيار الكهربى المتردد فى المولد الكهربى

\* تتطلب كثير من التطبيقات الكهربائية استخدام تيار مستمر (DC) وليس تيار متردد (AC)، لذلك يتم تحويل التيار المتردد متغير الشدة والاتجاه إلى تيار موحد الاتجاه ويطلق على هذه العملية تقويم التيار الكهربى المتردد، ويتم ذلك بتحويل دينامو التيار المتردد إلى :

تقويم التيار الكهربى المتردد  
تحويل التيار الكهربى المتردد الناتج من الدينامو إلى تيار موحد الاتجاه فى الدائرة الخارجية.

العملية تقويم التيار الكهربى المتردد،

ويتم ذلك بتحويل دينامو التيار المتردد إلى :

1 دينامو تيار موحد الاتجاه متغير الشدة.

2 دينامو تيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً.

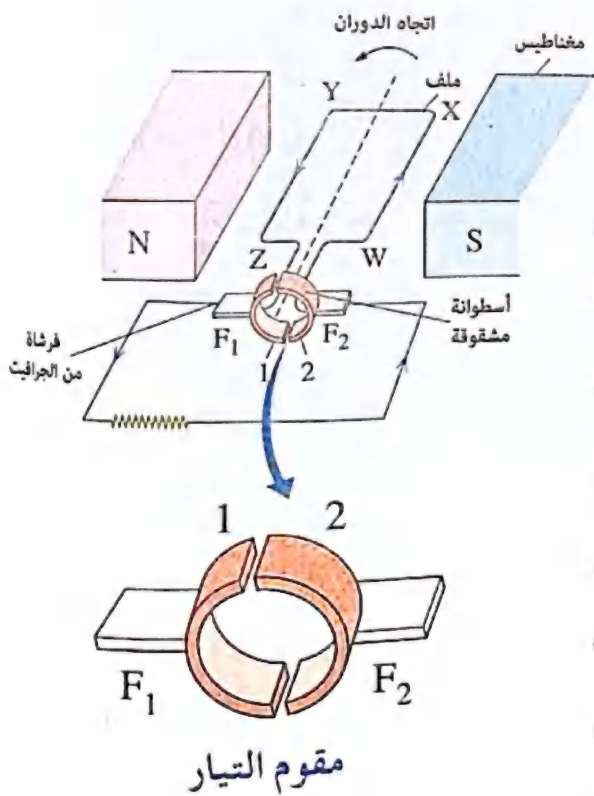
### 1 دينامو التيار موحد الاتجاه متغير الشدة

#### الاستخدام :

الحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه متغير الشدة، والذي يستخدم فى تحضير بعض الفلزات بالتحليل الكهربى لمركباتها.

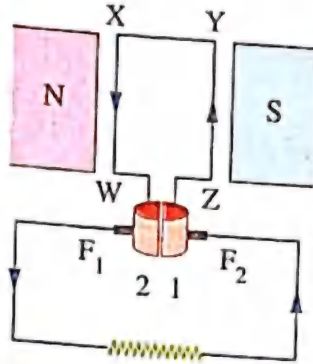
#### التركيب :

يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين فى دينامو التيار المتردد بمقوم تيار يتركب من أسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة طولياً إلى نصفين (1, 2) معزولين تماماً عن بعضهما بواسطة شق عازل، ويلامس نصفى الأسطوانة (1, 2) أثناء دورانهما فرشستان  $(F_1, F_2)$  ويراعى أن تلامس الفرشستان الشق العازل فى اللحظة التى يكون فيها مستوى الملف عمودى على خطوط الفيض أى عندما تكون  $(emf = 0)$ .



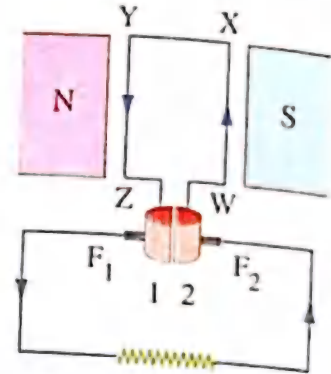
شرح العمل :  
إذا بدأ الملف في الدوران في عكس اتجاه عقارب الساعة فإنه :

## ٢ خلال النصف الثاني من الدورة



تكون الفرشاة  $F_1$  ملامسة لنصف الأسطوانة (2) ، والفرشاة  $F_2$  ملامسة لنصف الأسطوانة (1).

## ١ خلال النصف الأول من الدورة



تكون الفرشاة  $F_1$  ملامسة لنصف الأسطوانة (1) ، والفرشاة  $F_2$  ملامسة لنصف الأسطوانة (2).

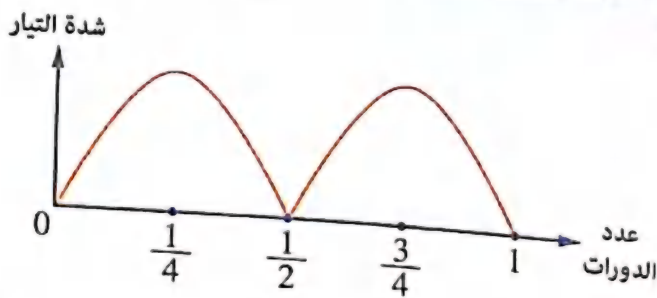
وبالتالي فإن التيار المتولد في الملف

يعكس اتجاهه ليمر في الاتجاه (ZYXW)

يمر في الاتجاه (WXYZ)

فيمر التيار في الدائرة الخارجية من الفرشاة  $F_1$  إلى الفرشاة  $F_2$  أي في نفس الاتجاه في الحالتين

مع استمرار الدوران تظل الفرشاة  $F_1$  موجبة الجهد والفرشاة  $F_2$  سالبة الجهد، لذلك يكون التيار الكهربى والقوة الدافعة الكهربائية في الدائرة الخارجية موحداً الاتجاه



ولكن مقدارهما يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف (كما بالشكل).

## دينامو التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً

### الاستخدام :

الحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه وثابت الشدة تقريباً لاستخدامه فى الطلاء بالكهرباء، وشحن المراكم وشاحن التليفون المحمول.

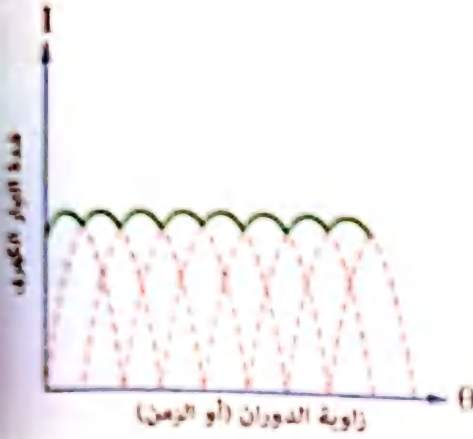
### التركيب :

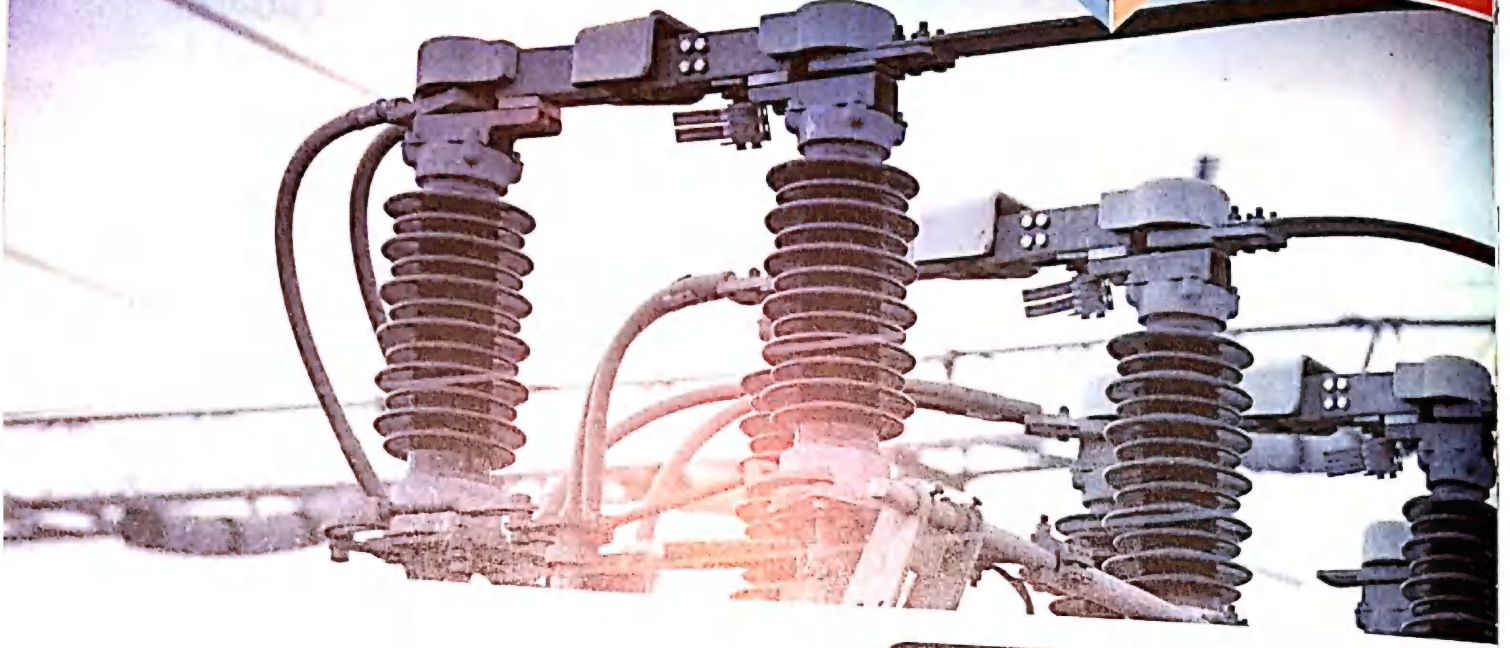
فى دينامو التيار المتردد يتم استبدال :

١ الملف بعدة ملفات بينها زوايا صغيرة متساوية.

٢ الحلقتين المعدنيتين بأسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات،

حتى تلامس الفرشتان دائماً جزئى الأسطوانة المتصلين بالملف الموازى لخطوط الفيض المغناطيسى فيصبح التيار دائماً نهاية عظمى ويكون ثابت الشدة تقريباً وبالتالي يمكن الحصول على تيار مقوم.





### المحول الكهربى Transformer

#### الاستخدام :

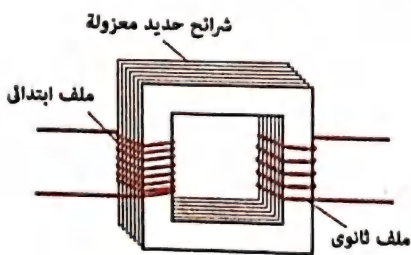
- ١ رفع أو خفض الجهد الكهربى المتردد.
  - ٢ تقليل الفقد فى الطاقة الكهربائية أثناء نقلها عبر أسلاك معدنية من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة.
  - ٣ يستخدم فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات.
- الأساس العلمى (فكرة العمل) : الحث المتبادل بين ملفين.

#### الأنواع :

- ١ محولات رافعة للجهد تستخدم عند محطات التوليد.
- ٢ محولات خافضة للجهد تستخدم عند محطات التوزيع.

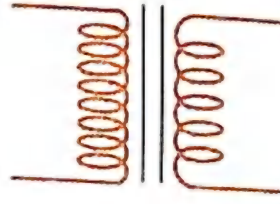
#### التركيب :

- ١ قلب من الحديد المطاوع السيليكونى على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها، لأن معامل النفاذية المغناطيسية للحديد كبير فيعمل على تركيز الفيض المغناطيسى ونظراً لأن المقاومة النوعية للحديد المطاوع السيليكونى كبيرة والقلب على شكل شرائح معزولة عن بعضها فتزداد مقاومته مما يحد من التيارات الدوامية ويقلل من الطاقة الكهربائية المفقودة.

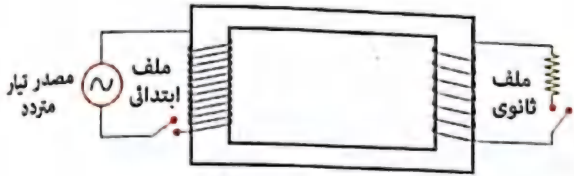


٢ يلف حول القلب الحديدي ملفان (ابتدائي وثانوي) مصنوعان من أسلاك نحاسية، لصغر المقاومة النوعية للنحاس فتكون مقاومة الملفات صغيرة وتقل الطاقة المفقودة فيها على شكل حرارة وبالتالي تقل القدرة المفقودة في الأسلاك.

الرمز :



شرح العمل :



- يوصل الملف الابتدائي بمصدر التيار المتردد المراد رفع أو خفض جهده، ويوصل الملف الثانوي بالدائرة الكهربائية المراد إمدادها بقيمة معينة للجهد.

- عند غلق دائرة كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي يمر تيار متردد في الملف الابتدائي فيتولد حوله وبداخله فيض مغناطيسي متردد يعمل القلب الحديدي على تركيزه ليقطع لفات الملف الثانوي.
- نتيجة التغير في الفيض المغناطيسي الناشئ عن الملف الابتدائي تتولد emf مستحثة في الملف الثانوي لها نفس تردد تيار الملف الابتدائي.
- تكون قيمة emf المستحثة أكبر أو أقل من emf للمصدر حسب النسبة بين عدد لفات الملفين الثانوي والابتدائي.

### استنتاج العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين في ملفي المحول المثالي

- \* بفرض وجود محول مثالي لا يحدث فيه فقد في الطاقة، فإذا كان جهد الملف الابتدائي  $V_p$  وعدد لفاته  $N_p$  والقوة الدافعة المستحثة المتولدة في الملف الثانوي  $V_s$  وعدد لفاته  $N_s$ ، فإنه :
- عند غلق دائرة الملف الابتدائي مع الإبقاء على دائرة الملف الثانوي مفتوحة تتولد بالحث الذاتي في الملف الابتدائي emf مستحثة عكسية تساوي تقريباً emf للمصدر، وبالتالي لا تستهلك طاقة كهربائية تذكر في دائرة الملف الابتدائي :

$$V_p = -N_p \frac{\Delta\phi_m}{\Delta t} \quad (1)$$

حيث :  $\left(\frac{\Delta\phi_m}{\Delta t}\right)$  معدل تغير الفيض الذي يقطع الملف الابتدائي.



- عند غلق دائرة الملف الثانوى مع الإبقاء على دائرة الملف الابتدائى مغلقة يتولد بين طرفى الملف الثانوى قوة دافعة كهربية مستحثة ( $V_s$ )، وبفرض عدم وجود فقد فى الفيض المغناطيسى، فإن معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الابتدائى = معدل تغير الفيض الذى يقطع الملف الثانوى.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) :

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

فإذا كان

$N_p > N_s$  - تكون القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى أصغر من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى ويكون المحول خافض للجهد.

$N_p < N_s$  - تكون القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى أكبر من القوة الدافعة الكهربية للملف الابتدائى ويكون المحول رافع للجهد.

### استنتاج العلاقة بين شدتى التيارين فى ملفى المحول المثالى

\* بفرض عدم وجود فقد فى الطاقة الكهربية فى المحول، فإنه تبعاً لقانون بقاء الطاقة :

الطاقة الكهربية المستنفذة فى الملف الابتدائى فى زمن معين = الطاقة الكهربية المتولدة فى الملف الثانوى فى نفس الزمن

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

أى أنه : قدرة الدخلى «للملف الابتدائى» = قدرة الخرج «للملف الثانوى»

$$\therefore V_p I_p = V_s I_s$$

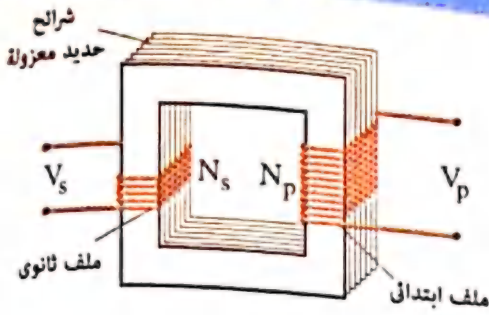
$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

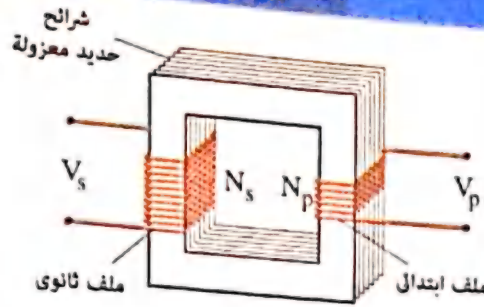
$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

أى أنه : النسبة بين شدتى التيار فى الملفين تتناسب عكسياً مع نسبة عدد اللفات وكذلك مع نسبة القوتين الدافعتين الكهربييتين المتولدتين فى الملفين.

## المحول الخافض



## المحول الرافع



الشكل

خفض الجهد الكهربى عند مناطق التوزيع

رفع الجهد الكهربى عند محطات التوليد

الاستخدام

$$N_p > N_s$$

$$N_s > N_p$$

عدد اللفات

$$V_p > V_s$$

$$V_s > V_p$$

القوة الدافعة الكهربائية

$$I_s > I_p$$

$$I_p > I_s$$

شدة التيار

## ملاحظات

\* يعتبر المحول الخافض للجهد رافعاً للتيار بينما المحول الرافع للجهد خافضاً للتيار، **لأن** القدرة ثابتة، وبالتالي فإن فرق الجهد يتناسب عكسياً مع شدة التيار تبعاً للعلاقة:  $I = \frac{P_w}{V}$

\* تعمل emf المستحثة المتولدة بالحث الذاتى فى الملف الابتدائى على تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الابتدائى.

\* عند غلق دائرتى الملفين الابتدائى والثانوى لمحول كهربى يمر تيار كهربى فى دائرة الملف الابتدائى وتستنفذ طاقة كهربية فيه،

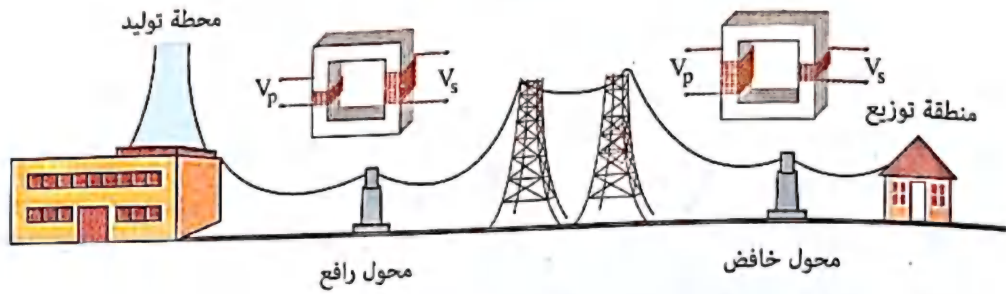
**لتولد** emf مستحثة فى الملف الثانوى بالحث المتبادل ينشأ عنها مرور تيار مستحث يولد فيض مغناطيسى يقاوم التغير فى الفيض المغناطيسى الناشئ عن الملف الابتدائى، وبالتالي تقل emf المستحثة العكسية فى الملف الابتدائى مما يسمح بمرور التيار فيه وبالتالي تستنفذ طاقة كهربية فيه.

\* لا يصلح المحول الكهربى لرفع أو خفض قوة دافعة كهربية مستمرة،

**لأن** أساس عمل المحول الكهربى هو الحث المتبادل، والفيض المغناطيسى الناشئ عن التيار المستمر ثابت فلا تتولد emf مستحثة فى الملف الثانوى إلا لحظة غلق وفتح الدائرة.



## القدرة عند محطة التوليد وعند مناطق التوزيع



### \* عند محطة التوليد الكهربائية :

- يستخدم المحول الرافع للجهد (خافض للتيار) حتى يتم رفع الجهد إلى قيمة عالية عند المحطة، وبالتالي تقل قيمة شدة التيار المارة في أسلاك التوصيل إلى قيمة منخفضة جداً مما يقلل من الفقد في القدرة المستنفذة عبر الأسلاك، ويكون :

$$\text{القدرة المفقودة في الأسلاك} = I^2 R, \quad \text{الهبوط في الجهد} = IR$$

حيث : (R) مقاومة الأسلاك.

أي أن : القدرة المستنفذة في أسلاك التوصيل تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار.  
- يساعد انخفاض شدة التيار الخارج من المحطة على نقله عبر أسلاك رفيعة بدلاً من كابلات سميكة وفي ذلك توفير في تكاليف النقل.

### \* عند مناطق التوزيع :

يستخدم محول خافض للجهد (رافع للتيار) ليصبح فرق الجهد على الملف الثانوي مناسب لتشغيل الأجهزة الكهربائية المستخدمة في المنازل وتكون :

القدرة عند المستهلك (مناطق التوزيع) = القدرة عند محطة التوليد - القدرة المفقودة في الأسلاك

$$\text{كفاءة النقل} = \frac{\text{القدرة عند منطقة التوزيع}}{\text{قدرة محطة التوليد}} \times 100$$

### مثال ١

محول كهربى خافض مثالى يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل بفرق جهد 12 V باستخدام منبع كهربى قوته الدافعة الكهربائية 240 V فإذا كان عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة، احسب :  
(1) شدة التيار المار في الملف الثانوى.  
(ب) عدد لفات الملف الابتدائى.

الحل

$$P_w = 24 \text{ W}$$

$$V_s = 12 \text{ V}$$

$$V_p = 240 \text{ V}$$

$$N_s = 480$$

$$I_s = ?$$

$$N_p = ?$$

$$P_w = V_s I_s, \quad I_s = \frac{P_w}{V_s} = \frac{24}{12} = 2 \text{ A} \quad (1)$$

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}, \quad \frac{12}{240} = \frac{480}{N_p} \quad (2)$$

$$N_p = \frac{480 \times 240}{12} = 9600 \text{ لفة}$$

مثال 2

نقلت قدرة كهربية مقدارها  $4 \times 10^5 \text{ W}$  من محطة توليد إلى مصنع خلال خط نقل مقاومته  $0.5 \Omega$  فإذا كان الجهد عند محطة التوليد  $2 \times 10^3 \text{ V}$ ، احسب :

(1) شدة التيار في الخط.

(2) الهبوط في الجهد.

(3) القدرة المفقودة في الخط.

الحل

$$P_w = 4 \times 10^5 \text{ W}$$

$$R = 0.5 \Omega$$

$$V = 2 \times 10^3 \text{ V}$$

$$I = ?$$

$$\text{الهبوط في الجهد} = ?$$

$$\text{القدرة المفقودة في الخط} = ?$$

$$I = \frac{P_w}{V} = \frac{4 \times 10^5}{2 \times 10^3} = 2 \times 10^2 \text{ A} \quad (1)$$

$$\text{الهبوط في الجهد} = IR = 2 \times 10^2 \times 0.5 = 100 \text{ V} \quad (2)$$

$$\text{القدرة المفقودة في الخط} = I^2 R = (2 \times 10^2)^2 \times 0.5 = 2 \times 10^4 \text{ W} \quad (3)$$

كفاءة المحول الكهربى

\* إذا لم يكن هناك فقد في القدرة الكهربائية في المحول أى أن القدرة الكهربائية المتولدة في الملف الثانوى تساوى القدرة الكهربائية المستنفذة في الملف الابتدائى تكون كفاءة المحول 100% كما فى حالة المحول المثالى ومثل هذا المحول غير موجود فى الحياة العملية.



## كفاءة المحول الكهربى (η)

النسبة بين قدرة الملف الثانوى إلى قدرة الملف الابتدائى.

النسبة بين الطاقة الكهربائية المتولدة فى الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربائية المستنفذة فى الملف الابتدائى فى نفس الزمن.

$$\eta = \frac{(P_w)_s}{(P_w)_p} \times 100 = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

\* تتعين كفاءة المحول من العلاقة :

\* أسباب فقد الطاقة الكهربائية فى المحول الكهربى وكيفية التقليل منها :

أسباب فقد الطاقة فى المحول الكهربى	كيفية التقليل منها
١ يتحول جزء من الطاقة الكهربائية فى الأسلاك إلى طاقة حرارية.	* صنع الملفات من أسلاك من النحاس مقاومتها أقل ما يمكن.
٢ يتحول جزء من الطاقة الكهربائية فى القلب الحديدى إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية.	* صنع القلب الحديدى من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها من الحديد المطاوع السيليكونى لكبر مقاومته النوعية.
٣ يتحول جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية تستنفذ فى تحريك الجزيئات المغناطيسية للقلب الحديدى.	* صنع القلب الحديدى من الحديد المطاوع السيليكونى لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية.
٤ تسرب بعض خطوط الفيض فلا تقطع الملف الثانوى.	* يلف الملف الثانوى حول الابتدائى مع عزله عنه كما يصل بينهما قلب من الحديد المطاوع السيليكونى.

## العوامل التى تتوقف عليها كفاءة المحول الكهربى

- ١ مقاومة أسلاك الملفين.
- ٢ الشكل الهندسى للملفين.
- ٣ نوع مادة القلب المعدنى.
- ٤ تصميم القلب المعدنى.

مثال

محول خافض للجهد يخفض الجهد الكهربى من 2400 V إلى 120 V وعدد لفات ملفه الابتدائى 4000 لفة، إذا علمت أن القدرة الناتجة من المحول 13500 W وكفاءة المحول 90 %، أوجد :

(أ) عدد لفات الملف الثانوى.

(ب) شدة التيار فى الملفين.

الحل

$$V_p = 2400 \text{ V}$$

$$V_s = 120 \text{ V}$$

$$N_p = 4000$$

$$P_w = 13500 \text{ W}$$

$$\eta = 90 \%$$

$$N_s = ?$$

$$I_s = ?$$

$$I_p = ?$$

$$\eta = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100 \quad (1)$$

$$90 = \frac{120 \times 4000}{2400 \times N_s} \times 100, \quad N_s = 222.22 \text{ لفة}$$

$$P_w = V_s I_s, \quad I_s = \frac{P_w}{V_s} = \frac{13500}{120} = 112.5 \text{ A} \quad (2)$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{I_p}{I_s}, \quad I_p = \frac{N_s I_s}{N_p} = \frac{222.22 \times 112.5}{4000} = 6.25 \text{ A}$$

إرشاد

\* فى حالة محول مثالى له ملفان ثانويان فإن :

- عند تشغيل كل جهاز على حدة :

$$\frac{V_p}{(V_s)_1} = \frac{N_p}{(N_s)_1}$$

$$\frac{V_p}{(V_s)_2} = \frac{N_p}{(N_s)_2}$$

- عند تشغيل الجهازين معاً فى نفس الوقت :

$$(P_w)_p = (P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}$$

$$V_p I_p = (V_s)_1 (I_s)_1 + (V_s)_2 (I_s)_2$$



### مثال

محول كهربى عدد لفات ملفه الابتدائى 200 لفة ويعمل على تيار متردد قوته الدافعة الكهربائية الفعالة 200 V فإذا كان للمحول ملفان ثانويان لتشغيل جهازين الأول راديو (0.5 A , 12 V) والثانى كشاف (1.2 A , 80 V)، احسب :

(أ) عدد لفات الملفين الثانويين.

(ب) شدة التيار المار فى الملف الابتدائى عند تشغيل الجهازين معاً فى نفس الوقت.

الحل

$$N_p = 200 \quad V_p = 200 \text{ V} \quad (I_s)_1 = 0.5 \text{ A} \quad (V_s)_1 = 12 \text{ V} \quad (I_s)_2 = 1.2 \text{ A}$$

$$(V_s)_2 = 80 \text{ V} \quad (N_s)_1 = ? \quad (N_s)_2 = ? \quad I_p = ?$$

$$\frac{V_p}{(V_s)_1} = \frac{N_p}{(N_s)_1} \quad , \quad \frac{200}{12} = \frac{200}{(N_s)_1} \quad (1)$$

$$(N_s)_1 = 12 \text{ لفة}$$

$$\frac{V_p}{(V_s)_2} = \frac{N_p}{(N_s)_2} \quad , \quad \frac{200}{80} = \frac{200}{(N_s)_2}$$

$$(N_s)_2 = 80 \text{ لفة}$$

$$(P_w)_p = (P_w)_{s1} + (P_w)_{s2} \quad (ب)$$

$$V_p I_p = (V_s)_1 (I_s)_1 + (V_s)_2 (I_s)_2$$

$$200 I_p = (12 \times 0.5) + (80 \times 1.2)$$

$$I_p = 0.51 \text{ A}$$

### إرشاد

• إذا كان المحول غير مثالى  $((P_w)_p > (P_w)_s)$  فإنه فى حالة وجود :

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100 = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

- ملف ثانوى واحد :

$$\eta (P_w)_p = ((P_w)_{s1} + (P_w)_{s2}) \times 100$$

- ملفين ثانويين :

مثال

محول خافض للجهد كفاءته 80 % وجهد ملفه الابتدائي 150 V وجهد ملفه الثانوي 8 V ، فإذا كانت شدة التيار في الملف الابتدائي 0.25 A وعدد لفات الملف الثانوي 70 لفة، فما شدة التيار في الملف الثانوي وعدد لفات الملف الابتدائي ؟

الحل

$$\eta = 80 \% \quad V_p = 150 \text{ V} \quad V_s = 8 \text{ V} \quad I_p = 0.25 \text{ A}$$

$$N_s = 70 \quad I_s = ? \quad N_p = ?$$

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p} \times 100$$

$$I_s = \frac{\eta V_p I_p}{V_s \times 100} = \frac{80 \times 150 \times 0.25}{8 \times 100} = 3.75 \text{ A}$$

$$\eta = \frac{V_s N_p}{V_p N_s} \times 100$$

$$N_p = \frac{\eta V_p N_s}{V_s \times 100} = \frac{80 \times 150 \times 70}{8 \times 100} = 1050 \text{ لفة}$$

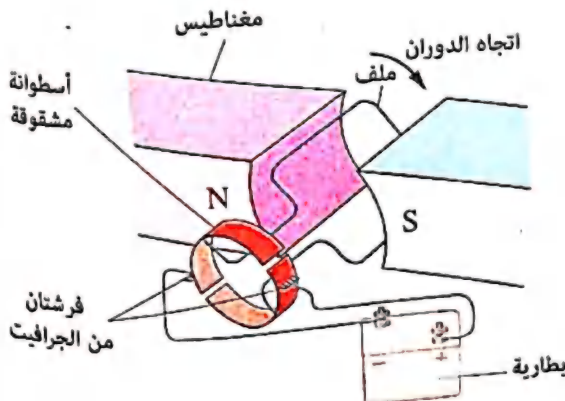
محرك التيار الكهربى المستمر (الموتور) DC Motor

الاستخدام : تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية (حركية).

التركيب :

١ قلب من الحديد المطاوع، مكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها، للحد من التيارات الدوامية.

٢ ملف مستطيل، يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوف حول القلب الحديدى بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال. مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين، يدور الملف والقلب الحديدى بين قطبيه.





- 1 أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول إلى نصفين معزولين عن بعضهما متصلين بطرفي الملف وقابلين للدوران حول نفس محور دوران الملف.
- 2 فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما أحد نصفي الأسطوانة المعدنية.
- 3 بطارية يوصل قطبيها بالفرشتين عند تشغيل المحرك الكهربى.

### الأساس العلمى (فكرة العمل) :

- الفكرة : عزيم الازدواج الناتج عن مرور تيار كهربى فى ملف قابل للدوران فى مجال مغناطيسى.
- الشرح : عند مرور تيار كهربى فى الملف تتولد على الضلعين الطولين له قوتان متوازيتان ومتساويتان فى المقدار ومتضادتان فى الاتجاه فينشأ عنهما ازدواج كل نصف دورة يدور الملف حول محوره ويغير نصفا الأسطوانة المعدنية موضعيهما بالنسبة للفرشتين كل نصف دورة، ويترتب على ذلك أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك الكهربى ينعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة ليصبح الازدواج فى كل لحظة فى اتجاه دورى واحد.

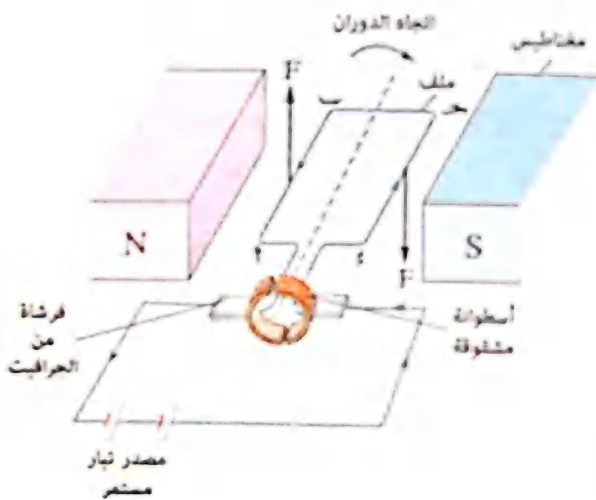
### ملحوظة

فكرة عمل المحرك الكهربى هى نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذى الملف المتحرك، الاختلاف بينهما أن ملف المحرك الكهربى يجب أن يدور باستمرار فى نفس الاتجاه فتصميم المحرك الكهربى يقتضى أن يغير نصفا الأسطوانة المعدنية موضعيهما بالنسبة للفرشتين كل نصف دورة ويترتب على هذا أن التيار الكهربى المار فى ملف المحرك يعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة.

### شرح عمل الموتور خلال دورة كاملة

#### فى النصف الأول من الدورة :

- عندما يكون مستوى الملف موازياً للفيض تلامس فرشتا الجرافيت نصفي الأسطوانة فيمر تيار فى الملف وتتولد قوتان مغناطيسيتان عموديتان على ضلعى الملف (٢، ٣) فى اتجاهين متضادين ينتج عنهما عزيم ازدواج يسبب دوران الملف (كما بالشكل).

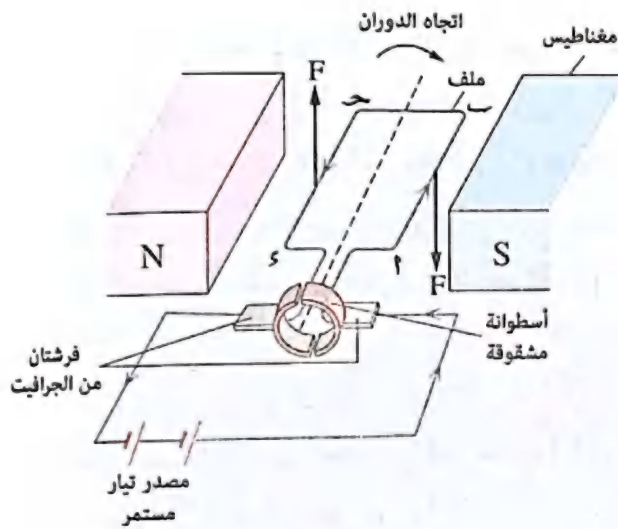


- مع استمرار دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجياً حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عمودياً على الفيض فتلامس الفرشتان المادة العازلة وينقطع التيار إلا أن الملف يستمر فى الدوران،

بسبب القصور الذاتى ليعبر الوضع العمودى ثم يزداد عزم الازدواج تدريجياً مرة أخرى حتى يصل لقيمه العظمى عندما يصل الملف للوضع الموازى.

\* فى النصف الثانى من الدورة :

- يصبح مستوى الملف موازياً للفيض مرة أخرى ويكون نصف الأسطوانة قد تبادلا موضعيهما مع الفرشتين وانعكس اتجاه التيار المار فى الملف ويكون عزم الازدواج قيمة عظمى يعمل على استمرار دوران الملف فى نفس الاتجاه الدائرى السابق.

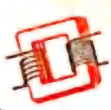


- مع استمرار دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجياً حتى ينعدم عندما يكون مستوى

الملف عمودياً على خطوط الفيض مرة أخرى ويستمر الملف فى الدوران، بسبب القصور الذاتى حتى يكمل دورته ويصبح موازياً للفيض، ويتكرر ذلك كل دورة كاملة للملف.

### القوة الدافعة الكهربائية العكسية فى الموتور

تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية فى ملف الموتور أثناء دورانه بسبب قطعه لخطوط الفيض المغناطيسى تعمل هذه القوة الدافعة على الحد من التيار الأسمى مما يسبب انتظام سرعة دوران الملف.



## كيفية زيادة كفاءة دوران المحرك الكهربى

- ١ استخدام مجموعة من الملفات بينها زوايا صغيرة متساوية،  
للاحتفاظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى حيث يتواجد دائماً ملف موازياً للفيض المغناطيسى فيتأثر بأكبر عزم ازدواج وهكذا تدور الملفات بسرعة أكبر.
- ٢ تقسيم الأسطوانة المعدنية إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات.

## العوامل التى تتوقف عليها قدرة الموتور الكهربى

- ١ عدد ملفات الموتور.
  - ٢ عدد لفات كل ملف.
  - ٣ كثافة الفيض المغناطيسى.
  - ٤ شدة التيار المار فى ملف الموتور.
  - ٥ مساحة وجه ملف الموتور.
- \* مما سبق يمكن المقارنة بين كل من مولد التيار الكهربى المتردد والمحول الكهربى والمحرك الكهربى كالتالى :

الاستخدام	التركيب	
تحويل الطاقة الميكانيكية (الحركية) إلى طاقة كهربية	<ul style="list-style-type: none"> <li>* مغناطيس ثابت (دائم أو كهربى).</li> <li>* ملف يتكون من لفة واحدة أو عدة لفات موضوع بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودى على المجال.</li> <li>* حلقتا انزلاق معدنيتان تتصلان بنهايتى الملف وتدوران مع دوران الملف.</li> <li>* فرشستان من الجرافيت تلامس كل منهما إحدى الحلقتين المنزلقتين.</li> </ul>	مولد التيار الكهربى المتردد (الدينامو)
<ul style="list-style-type: none"> <li>* رفع أو خفض الجهد الكهربى المتردد.</li> <li>* تقليل الفقد فى الطاقة الكهربائية أثناء نقلها عبر أسلاك معدنية من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة.</li> <li>* فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* قلب من الحديد المطاوع السيليكونى على شكل شرائح رقيقة معزولة عن بعضها.</li> <li>* ملفان (ابتدائى وثانوى) مصنوعان من أسلاك نحاسية وملفوفان حول قلب الحديد.</li> </ul>	المحول الكهربى

تحويل الطاقة الكهربائية  
إلى طاقة ميكانيكية  
(حركية)

- \* قلب من الحديد المطاوع مكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها.
- \* ملف مستطيل يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوف حول القلب الحديدي بحيث يكون قابل للدوران حول محور عمودي على المجال.
- \* مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس قطبيه مقعرين، يدور الملف والقلب الحديدي بين قطبيه.
- \* أسطوانة معدنية مشقوقة بالطول إلى نصفين معزولين عن بعضهما متصلين بطرفي الملف وقابلين للدوران حول نفس محور دوران الملف.
- \* فرشتان من الجرافيت تلامس كل منهما أحد نصفي الأسطوانة المعدنية.
- \* بطارية يوصل قطبيها بالفرشتين.

المحرك الكهربى  
(الموتور)

### معلومة إثرائية

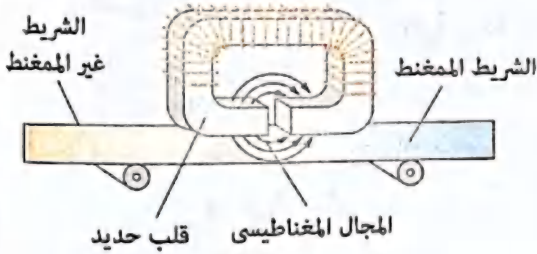
التسجيل

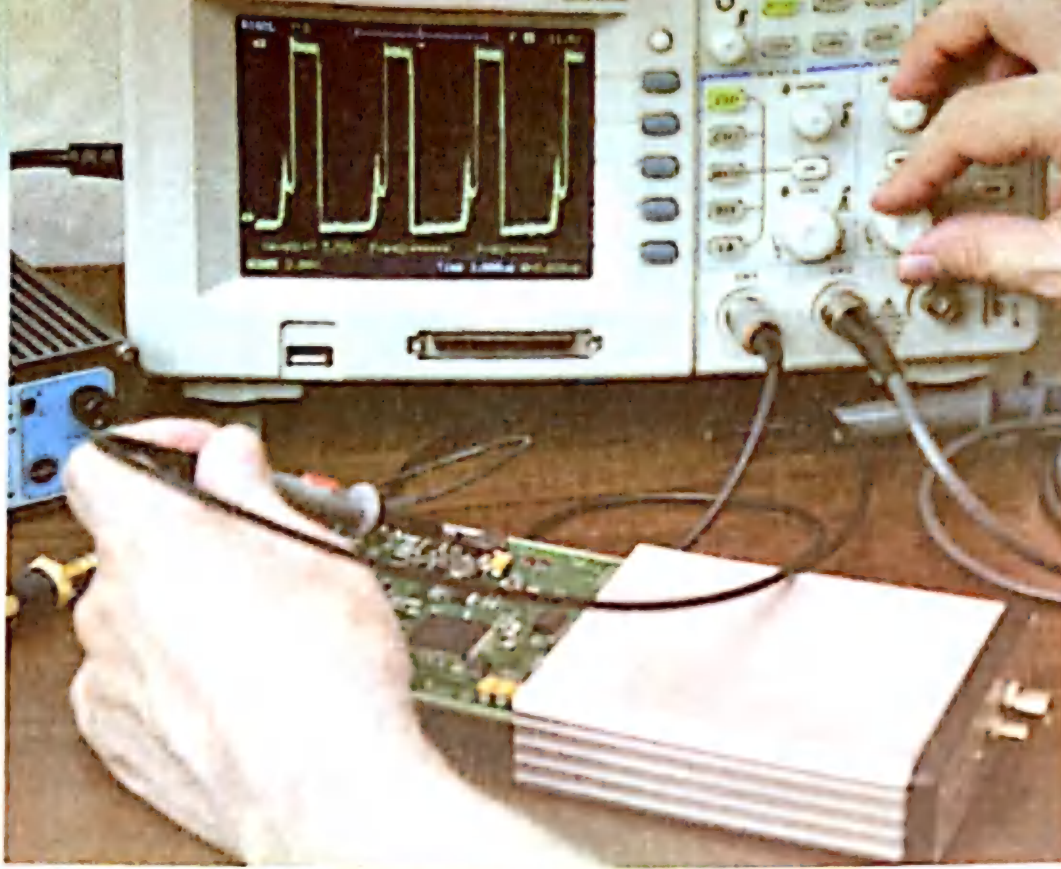
\* يستخدم الحث الكهرومغناطيسى فى :

(١) جهاز التسجيل Recorder

(٢) القرص الصلب Hard Disk

حيث تتحول الإشارة الكهربائية إلى مجال مغناطيسى يمغنط الشريط المغناطيسى فى رأس التسجيل، وعند التشغيل يقوم رأس التسجيل بقراءة ما تم تسجيله وتحويله إلى إشارة كهربية.





## الوحدة الأولى

الكهربية التيارية  
والكهرومغناطيسية

## دوائر التيار المتردد

## الفصل 4

دوائر التيار المتردد.

الدرس الأول

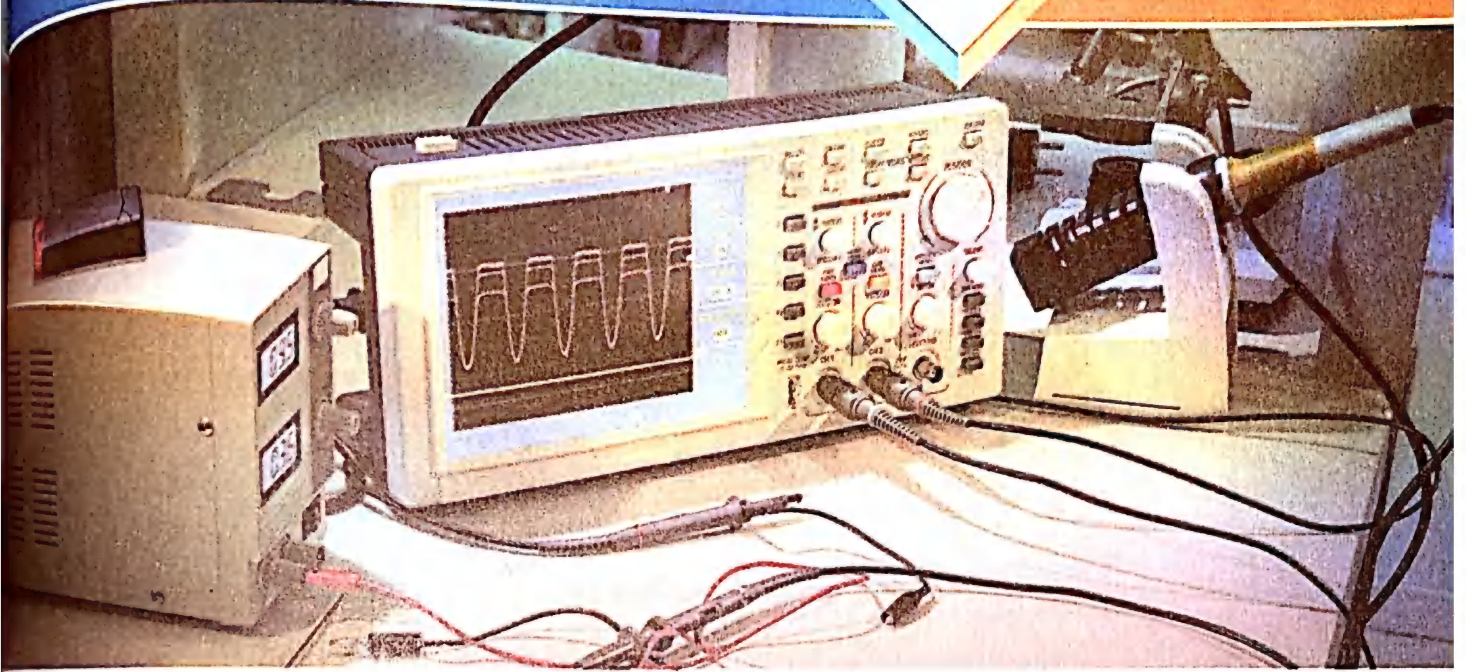
تابع دوائر التيار المتردد.

الدرس الثاني

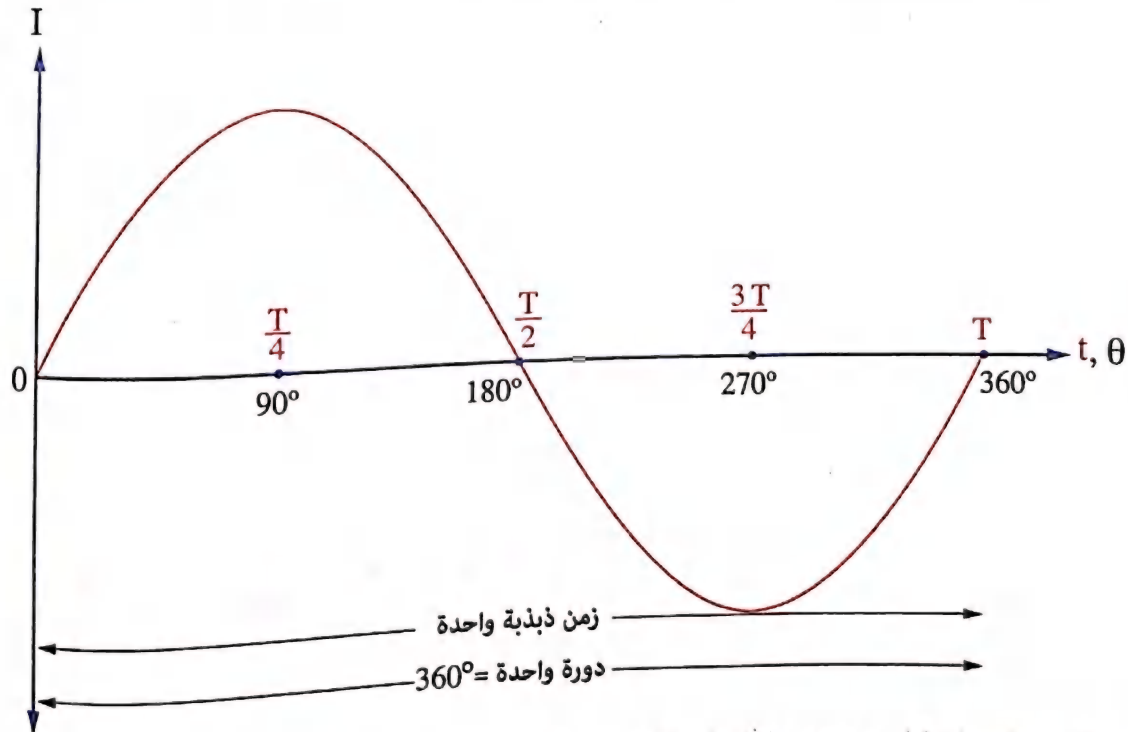
• الدائرة المهتزة.

الدرس الثالث

• دائرة الرنين.



\* درسنا في الفصل السابق كيفية استخدام الدينامو للحصول على تيار متردد يتغير كل من شدته واتجاهه دورياً مع مرور الزمن، ويمكن تمثيله بيانياً بمنحنى جيبي كالوضح بالشكل :



أي أنه : قيمة واتجاه كل من شدة التيار المتردد والقوة الدافعة الكهربائية تتغير تبعاً للعلاقتين :

$$V = V_{\max} \sin \theta$$

,

$$I = I_{\max} \sin \theta$$



## خصائص التيار المتردد

- ١ يمكن رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربائية للتيار المتردد حسب الحاجة وذلك باستخدام المحولات الكهربائية.
- ٢ يمكن نقل الطاقة الكهربائية لمسافات بعيدة من مصادر التوليد إلى أماكن الاستهلاك عبر الأسلاك دون فقد يذكر في الطاقة الكهربائية وذلك بعد رفع جهدا باستخدام المحولات.
- ٣ يمكن تحويله لتيار مستمر.
- ٤ يصلح لبعض الأغراض مثل الإضاءة والتسخين ولكنه لا يصلح لأغراض أخرى كالتحليل الكهربى والطلاء بالكهرباء حيث يستخدم التيار المستمر.
- ٥ له أثر حرارى عند مروره فى مقاومة أومية ولا يتوقف هذا الأثر على اتجاه التيار.

## الأميتر الحرارى Hot Wire Ammeter

تعتمد فكرة عمل الأميتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر على ملفه والناشئ عن المجال المغناطيسى المنتظم (ثابت الشدة والاتجاه) الناتج عن مرور التيار الكهربى فى الملف وحيث إن المجال الناشئ عن مرور التيار المتردد يكون متغير الشدة والاتجاه فيتغير اتجاه عزم الازدواج كل نصف دورة ويمنع القصور الذاتى للملف الاستجابة لهذا التغير، وبالتالي لا يصلح هذا الجهاز فى قياس شدة التيار المتردد، لذلك يعتمد قياس شدة التيار المتردد على التأثير الحرارى له وهى خاصية لا تعتمد على اتجاه التيار، ولذلك يستخدم الأميتر الحرارى فى قياس شدة التيار المتردد.

### الاستخدام :

قياس القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد وقياس شدة التيار المستمر.

### الأساس العلمى (فكرة العمل) :

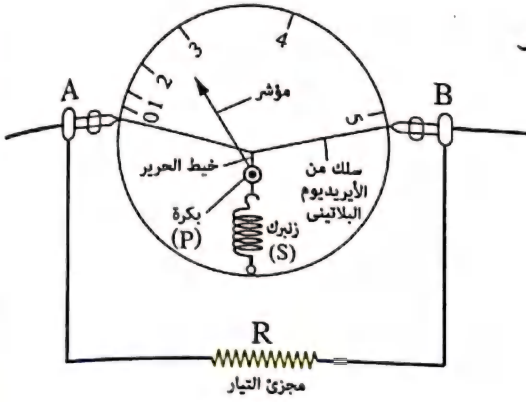
- الفكرة : التأثير الحرارى للتيار الكهربى.
- الشرح : يولد التيار الكهربى (المتردد أو المستمر) عند مروره فى مقاومة أومية لفترة زمنية معينة كمية من الحرارة يتوقف مقدارها على القيمة الفعالة للتيار المار.

### التوصيل فى الدائرة الكهربائية :

يوصل الأميتر الحرارى على التوالى فى الدائرة الكهربائية، حتى يمر به التيار المراد قياس شدته.

## التركيب :

١ مسمارين A ، B يشد بينهما سلك رفيع ويصنع هذا السلك من سبيكة الأيريديوم والبلاتين حتى يسخن السلك ويتمدد بمقدار محسوس عند مرور تيار كهربى فيه.



٢ يتصل السلك من منتصفه بطرف خيط حرير يلف لفة واحدة حول بكره (P).

٣ يشد الخيط الحريري بواسطة زنبرك (S) مثبت من طرفه الآخر بحيث يكون الخيط الحريري مشدود دائماً.

٤ يثبت على البكره مؤشر يتحرك طرفه على تدريج غير منتظم لقياس شدة التيار.

٥ يوصل سلك الأيريديوم البلاتينى على التوازي بمقاومة R صغيرة جداً، حتى تعمل كمجزئ للتيار فيمر بسلك الأيريديوم البلاتينى تيار كهربى مناسب مما يسمح بزيادة مدى الجهاز والتقليل من المقاومة الكلية للأميتر، وبالتالي لا تؤثر على المقاومة الكلية للدائرة أو شدة التيار المار بها عند توصيل الجهاز فى الدائرة.

## شرح العمل :

١ عند مرور التيار الكهربى المراد قياس شدته فى سلك الأيريديوم البلاتينى تتولد فيه كمية من الحرارة فيسخن السلك ويتمدد ويرتخى.

٢ يقوم خيط الحرير بشد السلك فتدور البكره ويتحرك المؤشر على التدريج.

٣ تؤخذ قراءة التدريج عند ثبات المؤشر وذلك عندما تتساوى كمية الحرارة المتولدة فى السلك فى زمن معين مع كمية الحرارة المفقودة منه فى نفس الزمن فتثبت درجة حرارته ويقف تمدده فيثبت المؤشر على قراءة تعبر عن القيمة الفعالة للتيار المتردد.

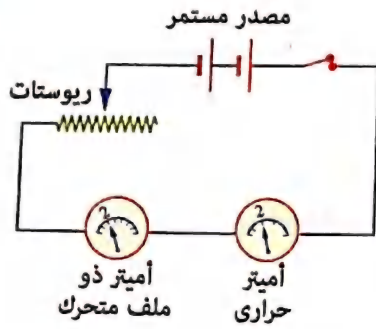
٤ عند قطع التيار عن الدائرة يبرد السلك تدريجياً وينكمش فيجذب خيط الحرير ليعود المؤشر ببطء لصفر التدريج.

## العيوب :

١ عند مرور تيار كهربى فى الجهاز يتحرك مؤشره ببطء حتى يثبت وعند قطع التيار عنه يعود إلى الصفر ببطء.

٢ يتأثر سلك الأيريديوم البلاتينى بحرارة الجو ارتفاعاً وانخفاضاً وذلك يسبب خطأ فى دلالة الأميتر يسمى الخطأ الصفري، والتغلب على هذا العيب يشد السلك على لوحة من مادة لها نفس معامل تمدد السلك مع عزله عنها.

## طريقة المعايرة :



يمكن معايرة الأميتر الحرارى عن طريق توصيله بمصدر تيار مستمر وريوستات وأميتر ذو ملف متحرك كما بالشكل المقابل، بحيث :

١ عندما يمر تيار معين فى الدائرة فإن مؤشر كل من الأميتر الحرارى والأميتر ذو الملف المتحرك يشير إلى قيمة هذا التيار، تؤخذ قراءة مؤشر الأميتر ذو الملف المتحرك وتُسجل على الموضع الذى يشير إليه مؤشر الأميتر الحرارى.

٢ تكرر العملية السابقة لقيم مختلفة لشدة التيار وذلك من خلال تغيير المقاومة المأخوذة من الريوستات حتى يكتمل تدريج الأميتر الحرارى.

## ملحوظة

\* تدريج الأميتر الحرارى غير منتظم وأقسامه ليست متساوية بل يزداد اتساعها كلما زادت شدة التيار،

لأن كمية الحرارة المتولدة فى السلك خلال زمن معين تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار المار به  $(I^2)$ .

\* مما سبق يمكن المقارنة بين الأميتر الحرارى و الأميتر ذو الملف المتحرك كالتالى :

الأميتر ذو الملف المتحرك	الأميتر الحرارى	
التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى (عزم الازدواج المؤثر على ملف موضوع فى مجال مغناطيسى عند مرور تيار كهربى فيه)	التأثير الحرارى للتيار الكهربى (تمدد سلك الأيريديوم البلاتينى نتيجة مرور التيار فيه)	فكرة العمل (سبب حركة المؤشر على التدريج)
قياس شدة التيار المستمر فقط	قياس شدة التيار المستمر والقيمة الفعالة للتيار المتردد	الاستخدام
منتظم	غير منتظم	التدريج
لا تتأثر قراءته بدرجة حرارة الجو المحيط	تتأثر قراءته بدرجة حرارة الجو المحيط	التأثر بدرجة حرارة الجو

يتحرك بسرعة عند إمرار التيار أو عند انقطاعه	يتحرك ببطء عند إمرار التيار أو عند انقطاعه	حركة المؤشر
عزم الازدواج المغناطيسي المؤثر على ملف الجلفانومتر = عزم اللي المتولد على الملفين الزنبركيين	كمية الحرارة المتولدة في السلك في زمن معين = كمية الحرارة المفقودة منه في نفس الزمن	شرط اتزان المؤشر

### دوائر التيار المتردد (AC Circuits)

\* فيما يلي سندرس بعض دوائر التيار المتردد والتي تتكون من مصدر تيار متردد يتصل به :

- ١ مقاومة أومية عديمة الحث (R).
- ٢ ملف حث عديم المقاومة (L).
- ٣ مكثف (C).
- ٤ مقاومة أومية وملف حث متصلين على التوالي (RL).
- ٥ مقاومة أومية ومكثف متصلين على التوالي (RC).
- ٦ مقاومة أومية وملف حث ومكثف متصلة معاً على التوالي (RLC).

### أولاً دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة أومية عديمة الحث

\* عند توصيل مقاومة أومية عديمة الحث ومصدر تيار متردد ومفتاح على التوالي كما بالشكل فإنه :

- عند غلق الدائرة يكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة (R) :

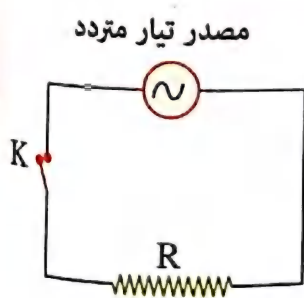
$$V = V_{\max} \sin \theta = V_{\max} \sin \omega t \quad (1)$$

حيث : (V) القيمة اللحظية لفرق الجهد،

( $V_{\max}$ ) القيمة العظمى لفرق الجهد،

( $\theta$ ) زاوية الطور ( $\theta = \omega t$ ),

( $\omega$ ) السرعة الزاوية ( $\omega = 2\pi f$ ).



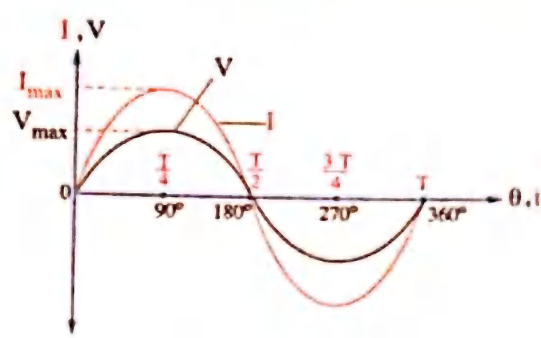
- طبقاً لقانون أوم تتعين شدة التيار اللحظية من العلاقة :

$$I = \frac{V}{R}$$

$$\therefore I = \frac{V_{\max}}{R} \sin \omega t$$

$$\therefore I = I_{\max} \sin \omega t$$

(2)

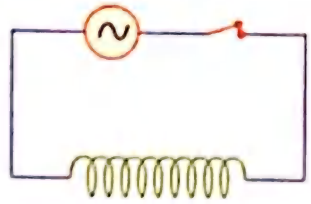


بمقارنة المعادلتين (1) ، (2) نجد أن :  
 فرق الجهد وشدة التيار فى مقاومة أومية  
 عديمة الحث تزداد قيمتهما معاً حتى يصلوا  
 إلى القيمة العظمى ثم يهبطان للصفر معاً،  
 أى أنه : فرق الجهد وشدة التيار متفقان فى  
 الطور كما هو موضح بالرسم البيانى المقابل.

\* يمكن تمثيل التيار وفرق الجهد فى مقاومة عديمة الحث بمتجهين لهما نفس الاتجاه :



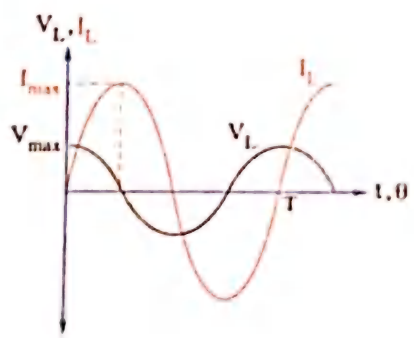
## ثانياً دائرة تيار متردد تحتوى على ملف حث عديم المقاومة



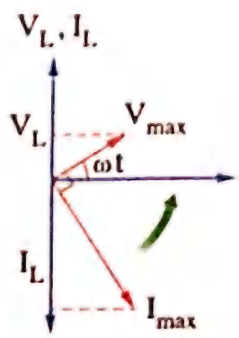
\* عند توصيل ملف حث عديم المقاومة معامل حثه الذاتى L ومصدر تيار متردد ومفتاح على التوالى (كما بالشكل) يتولد فى الملف قوة دافعة كهربية مستحثة تحسب

$$V_L = L \frac{\Delta I_L}{\Delta t}$$

قيمته من العلاقة (بالشكل) وتبعاً للعلاقة  $(I_L = I_{max} \sin \omega t)$  فإن شدة التيار تتغير مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبى (كما بالشكل)، ويمثل  $(\frac{\Delta I_L}{\Delta t})$  ميل المماس لهذا المنحنى حيث :

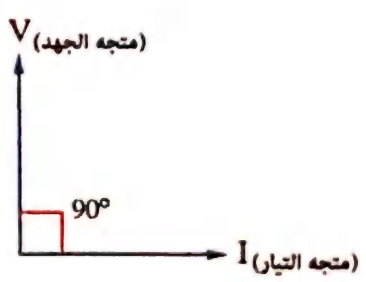


① عندما تكون قيمة شدة التيار  $(I_L)$  مساوية للصفر يكون هذا الميل نهاية عظمى وبذلك تكون قيمة فرق الجهد  $(V_L)$  نهاية عظمى.



② بزيادة شدة التيار يقل الميل تدريجياً وتقل قيمة فرق الجهد حتى تصل شدة التيار إلى القيمة العظمى فتتعدى قيمة الميل وبذلك تكون قيمة فرق الجهد مساوية للصفر.

③ عندما تقل شدة التيار تصبح قيمة الميل مقداراً سالباً وتزداد تدريجياً فتزداد قيمة فرق الجهد فى الاتجاه السالب حتى تصل إلى نهايتها العظمى عندما تصل شدة التيار للصفر.



\* مما سبق يتضح أن التيار يتأخر عن الجهد فى الطور بمقدار  $\frac{1}{4}$  دورة أى بزاوية  $90^\circ$  بسبب الحث الذاتى للملف.

## المفاعلة الحثية

المفاعلة الحثية ( $X_L$ )

الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في الملف بسبب حثه الذاتي.

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L$$

\* يلاحظ أن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة العكسية المتولدة بالحث الذاتي في الملف عديم المقاومة تسبب نوعاً من الممانعة لمرور التيار الأصلي تسمى المفاعلة الحثية ( $X_L$ ).

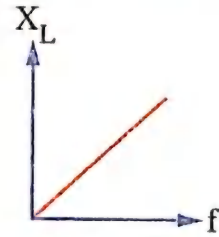
\* تتعين المفاعلة الحثية من العلاقة :

\* تقاس المفاعلة الحثية بوحدة الأوم ( $\Omega$ ).

## العوامل التي تتوقف عليها المفاعلة الحثية لملف حث

تردد التيار :

المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب طردياً مع تردد التيار.



$$\text{slope} = \frac{\Delta X_L}{\Delta f} = 2 \pi L$$

السرعة الزاوية :

المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب طردياً مع السرعة الزاوية.

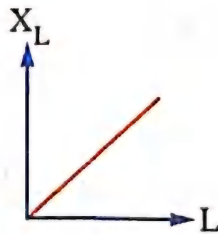


$$\text{slope} = \frac{\Delta X_L}{\Delta \omega} = L$$

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L$$

معامل الحث الذاتي للملف :

المفاعلة الحثية لملف حث تتناسب طردياً مع معامل الحث الذاتي للملف.



$$\text{slope} = \frac{\Delta X_L}{\Delta L} = \omega = 2 \pi f$$



مما سبق نستنتج أن

$$I = \frac{V_L}{X_L}$$

شدة التيار المتردد المار في ملف حث عديم المقاومة تتعين من العلاقة :

قيمة المفاعلة الحثية ( $X_L$ ) لا تعتمد على قيمة كل من فرق الجهد بين طرفي الملف ( $V_L$ ) وشدة التيار المار به ( $I$ ).

عند الترددات العالية جداً يكاد ينعدم مرور التيار المتردد في ملف الحث.

**لأن** المفاعلة الحثية للملف ( $X_L$ ) تتناسب طردياً مع تردد المصدر تبعاً للعلاقة ( $X_L = 2 \pi f L$ ) ولذلك عند الترددات العالية جداً تصبح قيمة  $X_L$  كبيرة جداً وتعتبر الدائرة مفتوحة.

المفاعلة الحثية للملف يمر به تيار مستمر تساوى صفر.

**لأن** التيار المستمر ثابت الشدة وموحد الاتجاه فيكون تردده مساوياً للصفر ( $f = 0$ ) وتبعاً للعلاقة ( $X_L = 2 \pi f L$ ) تصبح قيمة المفاعلة الحثية مساوية للصفر.

### ملاحظات

• عند توصيل دينامو تيار متردد مقاومته الأومية مهمة بملف حث عديم المقاومة الأومية وتغيير تردد ملف الدينامو فإن قيمة شدة التيار العظمى لا تتغير لأنها لا تعتمد على تردد دوران ملف الدينامو حيث إنها تحسب من العلاقة :

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{X_L} = \frac{NBA\omega}{\omega L} = \frac{NBA}{L}$$

• تختلف المفاعلة الحثية عن المقاومة الأومية في الآتي :

- المفاعلة الحثية للملف مهمل المقاومة لا تسبب فقد في الطاقة الكهربائية.

**لأن** الممانعة لمرور التيار تكون بواسطة القوة الدافعة الكهربائية المستحثة العكسية المتولدة في الملف ويقوم الملف بتخزين الطاقة الكهربائية على صورة مجال مغناطيسي ثم يعيد إعطائها للمصدر دون فقد في الطاقة.

- المقاومة الأومية عديمة الحث تسبب فقد في الطاقة الكهربائية في صورة طاقة حرارية.

$$L = \frac{\mu AN^2}{l}$$

• تتعين قيمة معامل الحث الذاتي ( $L$ ) ملف لولبي من العلاقة :

### مثال ١

ملف حثه الذاتى 700 mH مهمل المقاومة وصل بمصدر متردد قوته الدافعة 200 V وتردده 50 Hz، احسب شدة التيار المار فى الملف.

#### الحل

$$L = 700 \times 10^{-3} \text{ H} \quad V = 200 \text{ V} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad I = ?$$

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 700 \times 10^{-3} = 220 \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{220} = 0.91 \text{ A}$$

### مثال ٢

ملف حث طوله 25 π cm يتكون من 5000 لفة مساحة مقطع كل منها 10 cm<sup>2</sup>، متصل بدینامو تيار متردد عديم المقاومة الأومية ويدور ملفه بمعدل 50 دورة/ث، فإذا كانت القوة الدافعة الكهربائية العظمى لملف الدينامو 150√2 V، احسب القيمة الفعالة لشدة التيار المار فى دائرة الملف. (علمًا بأن : μ = 4 π × 10<sup>-7</sup> Wb/A.m)

#### الحل

$$l = 25 \pi \text{ cm} \quad N = 5000 \quad A = 10 \text{ cm}^2 \quad f = 50 \text{ Hz}$$

$$V_{\max} = 150\sqrt{2} \text{ V} \quad \mu = 4 \pi \times 10^{-7} \text{ Wb/A.m} \quad I_{\text{eff}} = ?$$

$$L = \frac{\mu AN^2}{l} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 10 \times 10^{-4} \times (5000)^2}{25 \pi \times 10^{-2}} = 0.04 \text{ H}$$

$$X_L = 2 \pi f L$$

$$= 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.04 = 12.57 \Omega$$

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{150\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 150 \text{ V}$$

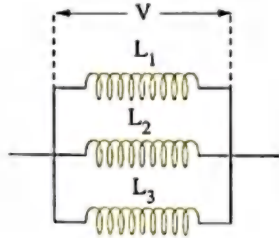
$$I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{X_L} = \frac{150}{12.57} = 11.93 \text{ A}$$



## المفاعلة الحثية لعدة ملفات متصلة معاً

\* عند توصيل عدة ملفات حث معاً (بحيث تكون متباعدة عن بعضها حتى يمكن إهمال الحث المتبادل بينها) بمصدر تيار متردد، فإذا كان التوصيل :

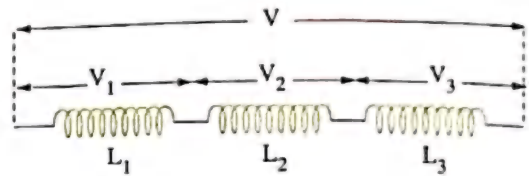
### على التوازي



$$\frac{1}{\hat{X}_L} = \frac{1}{(X_L)_1} + \frac{1}{(X_L)_2} + \frac{1}{(X_L)_3}$$

$$\frac{1}{\hat{L}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

### على التوالي



يكون

$$\hat{X}_L = (X_L)_1 + (X_L)_2 + (X_L)_3$$

$$\hat{L} = L_1 + L_2 + L_3$$

إذا كان معامل الحث الذاتي للملفات متساوي وعدد الملفات (n)

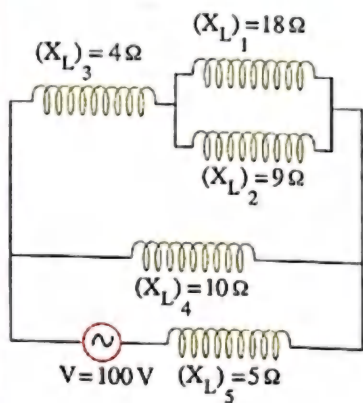
$$\hat{X}_L = \frac{(X_L)_1}{n}$$

$$\hat{L} = \frac{L_1}{n}$$

$$\hat{X}_L = n (X_L)_1$$

$$\hat{L} = n L_1$$

## مثال ١



احسب شدة التيار الكلي المار في الدائرة الموضحة.

(بفرض إهمال الحث المتبادل بين الملفات)

## الحل

$$\therefore (X_L)_1 = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6 \Omega$$

$(X_L)_1$  ،  $(X_L)_2$  متصلين على التوازي :

$(X_L)_1$  ،  $(X_L)_3$  متصلين على التوالي :

$$\therefore (X_L)_2 = 6 + 4 = 10 \Omega$$

$(X_L)_2$  ،  $(X_L)_4$  متصلين على التوازي :

$$\therefore (X_L)_3 = \frac{10}{2} = 5 \Omega$$

$(X_L)_3$  ،  $(X_L)_5$  متصلين على التوالي :

$$\therefore (X_L)_{\text{كلية}} = 5 + 5 = 10 \Omega$$

$$I = \frac{V}{(X_L)_{\text{كلية}}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

### مثال ٢

ثلاثة ملفات حث عديمة المقاومة كل منها عدد لفاته 100 لفة وطوله 15 cm ونصف قطره 2.2 cm، ملفوفة حول قضيب من الحديد نفاذيته المغناطيسية 0.002 Wb/A.m فإذا وصلت هذه الملفات بمصدر تيار متردد تردده 50 Hz، احسب المفاعلة الحثية الكلية إذا وصلت مع بعضها على :

(أ) التوالي.

(ب) التوازي.

(بفرض إهمال الحث المتبادل بينهم)

### الحل

$$n = 3 \quad N = 100 \quad \ell = 15 \times 10^{-2} \text{ m} \quad r = 2.2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\mu = 0.002 \text{ Wb/A.m} \quad f = 50 \text{ Hz} \quad \vec{X}_L = ?$$

$$L_1 = \frac{\mu AN^2}{\ell} = \frac{0.002 \times \frac{22}{7} \times (2.2 \times 10^{-2})^2 \times (100)^2}{15 \times 10^{-2}} = 0.2 \text{ H}$$

$$(X_L)_1 = 2 \pi f L_1 = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.2 = 62.86 \Omega$$

$$\vec{X}_L = n (X_L)_1 = 3 \times 62.86 = 188.58 \Omega \quad (أ)$$

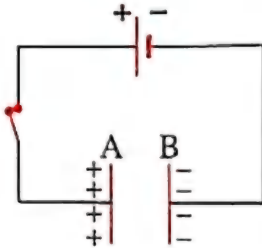
$$\vec{X}_L = \frac{(X_L)_1}{n} = \frac{62.86}{3} = 20.95 \Omega \quad (ب)$$



## المكثف الكهربى

**المكثف الكهربى** هو عبارة عن لوحين معدنيين متوازيين بينهما عازل ويخزن الطاقة الكهربائية على صورة مجال كهربى.

### توصيل المكثف مع مصدر تيار مستمر



\* عند توصيل مكثف ببطارية (كما بالشكل المقابل) بحيث يتصل اللوح A بالقطب الموجب واللوح B بالقطب السالب :  
- تنتقل الشحنة السالبة (الإلكترونات) من القطب السالب للبطارية إلى اللوح B ويقل جهده تدريجياً.

- تؤثر شحنة اللوح B السالبة على اللوح A فتطرد الشحنة السالبة إلى القطب الموجب للبطارية ويرتفع جهد اللوح A تدريجياً حيث تظهر عليه شحنة موجبة فينشأ فرق فى الجهد بين اللوحين يزداد بمرور الزمن.

- يزداد فرق الجهد بين اللوحين حتى يتساوى مع فرق الجهد بين قطبى البطارية فيتوقف انتقال الشحنات وبذلك يكون قد تم شحن المكثف.

\* مما سبق يتضح أن التيار المار فى هذه الحالة هو تيار لحظى يكون قيمة عظمى فى لحظة التوصيل ويتناقص تدريجياً حتى يتوقف عند تمام شحن المكثف.

### سعة المكثف

\* عند شحن المكثف الكهربى يكون أحد لوحيه موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة وبينهما فرق جهد (V)،

من هنا يمكن تعريف سعة المكثف كالتالى :

### سعة المكثف (C)

النسبة بين كمية الشحنة الكهربائية المتراكمة على أى من لوحى المكثف وفرق الجهد بينهما.

$$C = \frac{Q}{V}$$

\* تعين سعة المكثف (C) من العلاقة :

حيث : (Q) كمية الشحنة الكهربائية المتراكمة على أى من لوحى المكثف،  
(V) فرق الجهد بين لوحيه.

\* تقاس سعة المكثف بوحدة الفاراد (F) ويكافئ (C/V).

### الفاراد

سعة مكثف إذا شحن بشحنة كهربية مقدارها 1 C يكون فرق الجهد بين لوحيه 1 V

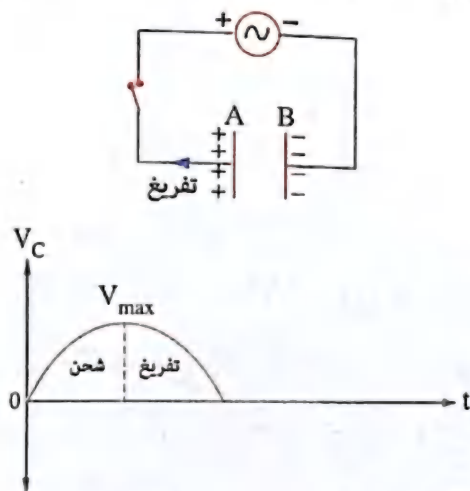
## ثالثاً دائرة تيار متردد تحتوي على مكثف

\* عند توصيل مكثف بمصدر تيار متردد فإنه :

### في نصف الدورة الأول

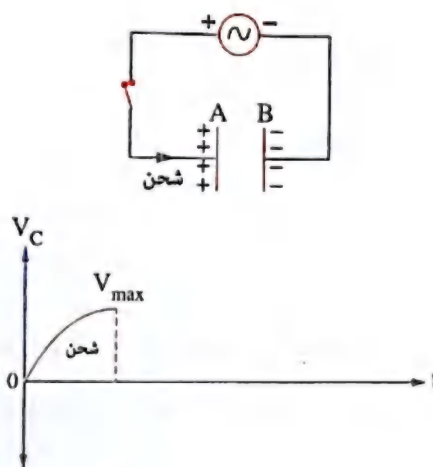
#### ٢ في الربع الثاني

يبدأ المكثف تفريغ شحنته عندما تبدأ  $emf$  للمصدر في الهبوط حيث يكون جهد المكثف أكبر من جهد المصدر وعندما تصل  $emf$  للمصدر إلى الصفر يصل جهد المكثف أيضاً للصفر



#### ١ في الربع الأول

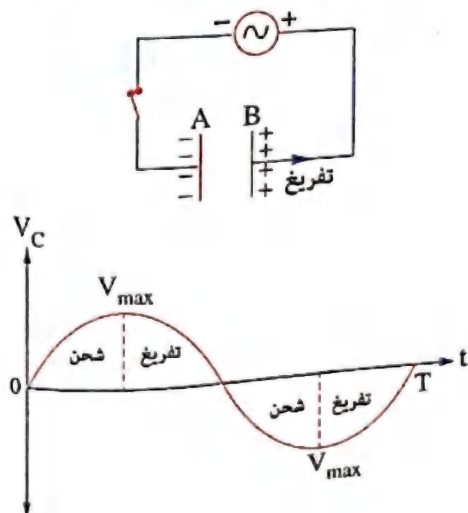
يتم شحن المكثف تدريجياً حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى نهاية عظمى تساوى النهاية العظمى لـ  $emf$  للمصدر



### في نصف الدورة الثاني

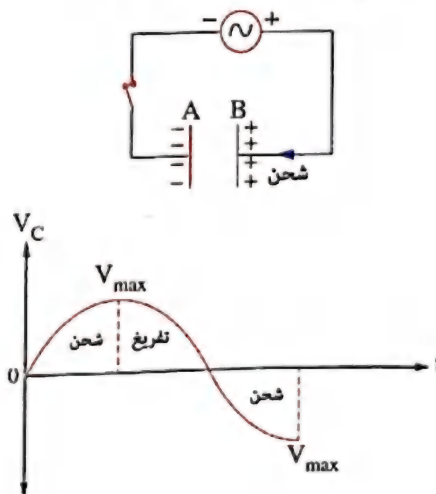
#### ٤ في الربع الرابع

يبدأ المكثف تفريغ شحنته كما بالربع الثاني عند انخفاض  $emf$  للمصدر حتى يصل كل منهما إلى الصفر في نهاية النصف الثاني للدورة



#### ٣ في الربع الثالث

يتم شحن المكثف حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى النهاية العظمى لـ  $emf$  للمصدر كما بالربع الأول ولكن بشحنات مضادة



أي أ هـ: المكثف يسمح بمرور التيار المتردد فى الدائرة الخارجية عن طريق الشحن والتفريغ، ويمكن حساب شدة التيار اللحظى المار فى الدائرة كالتالى :

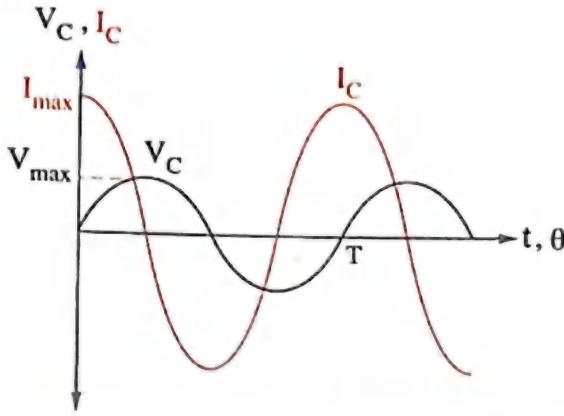
$$\therefore I_C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$Q = CV_C$$

$$\therefore I_C = \frac{\Delta CV_C}{\Delta t}$$

$$\therefore I_C = C \frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

$$\therefore I_C \propto \frac{\Delta V_C}{\Delta t}$$

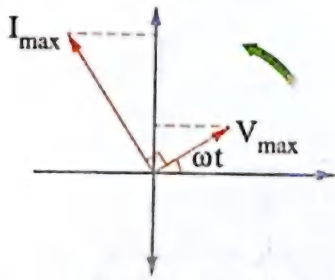


\* يتغير فرق الجهد مع زاوية الطور على صورة منحنى جيبي (كما بالشكل) تبعاً للعلاقة  $(V_C = V_{max} \sin \omega t)$ .

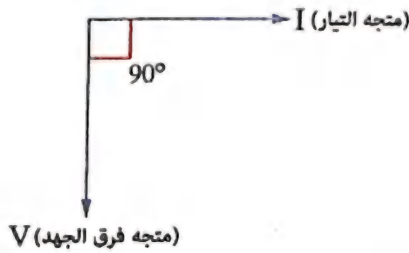
ويمثل  $(\frac{\Delta V_C}{\Delta t})$  ميل المماس لهذا المنحنى حيث :

١ يكون هذا الميل نهاية عظمى عندما تكون قيمة فرق الجهد  $(V_C)$  مساوية للصفر وبذلك تكون قيمة شدة التيار  $(I_C)$  نهاية عظمى.

٢ بزيادة فرق الجهد يقل الميل تدريجياً وتقل قيمة شدة التيار حتى يصل فرق الجهد إلى القيمة العظمى فتتعدى قيمة الميل وبذلك تصبح قيمة شدة التيار مساوية للصفر عند تلك اللحظة.



٣ عندما يقل فرق الجهد تصبح قيمة الميل مقداراً سالباً ويزداد تدريجياً فتزداد قيمة شدة التيار اللحظى فى الاتجاه السالب حتى تصل إلى نهايتها العظمى عندما تصل قيمة فرق الجهد للصفر.



\* مما سبق يتضح أن التيار يتقدم على فرق الجهد فى الطور بمقدار  $\frac{1}{4}$  دورة أى بزاوية  $90^\circ$  بسبب سعة المكثف.

### المفاعلة السعوية

\* بسبب وجود المكثف فى الدائرة الكهربائية نوعاً من الممانعة لمرور التيار المتردد تسمى المفاعلة السعوية  $(X_C)$ .

المفاعلة السعوية  $(X_C)$

الممانعة التى يلقاها التيار المتردد أثناء مروره فى دائرة تحتوى على مكثف بسبب سعته.

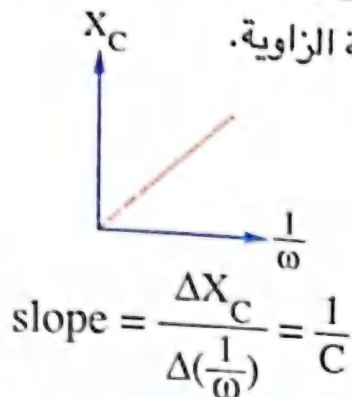
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

- \* تتعين المفاعلة السعوية ( $X_C$ ) من العلاقة :
- \* تقاس المفاعلة السعوية بوحدة الأوم ( $\Omega$ ).

### العوامل التي تتوقف عليها المفاعلة السعوية لمكثف

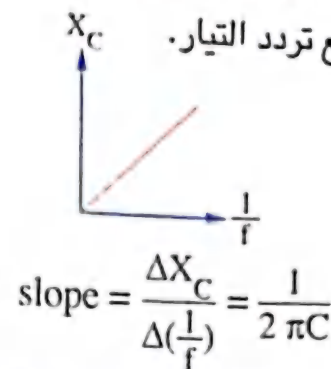
السرعة الزاوية :

تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسباً عكسياً مع السرعة الزاوية.



تردد التيار :

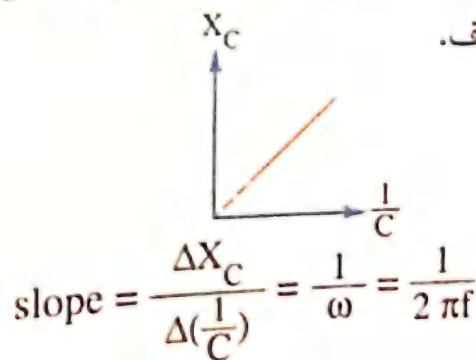
تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسباً عكسياً مع تردد التيار.



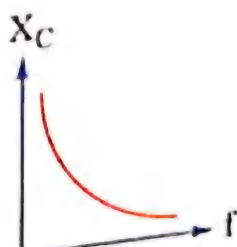
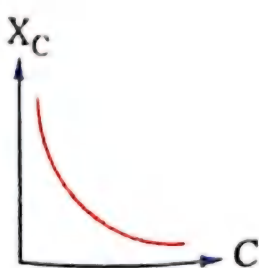
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

سعة المكثف :

تتناسب المفاعلة السعوية لمكثف تناسباً عكسياً مع سعة المكثف.



- \* التمثيل البياني للعلاقة بين المفاعلة السعوية وكل من سرعة المكثف وتردد التيار.



شدة التيار المتردد المار في دائرة تحتوي على مكثف تتعين من العلاقة ،  $I = \frac{V_C}{X_C}$

قيمة المفاعلة السعوية لمكثف ( $X_C$ ) لا تعتمد على فرق الجهد بين لوحى المكثف ( $V_C$ ) أو شدة التيار ( $I_C$ ) بالدائرة.

عند الترددات العالية جداً في دائرة مكثف تعتبر الدائرة الكهربائية مغلقة رغم المادة العازلة بين لوحى المكثف.

**لأن** المفاعلة السعوية للمكثف ( $X_C$ ) تتناسب عكسياً مع تردد المصدر تبعاً للعلاقة ( $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ) ولذلك عند الترددات العالية جداً تصبح قيمة  $X_C$  صغيرة جداً وبالتالي يمر تيار كبير جداً وتعتبر الدائرة مغلقة.

المفاعلة السعوية لمكثف يمر في دائرته تيار مستمر تساوى مالانهاية،

**لأن** التيار المستمر ثابت الشدة وموحد الاتجاه فيكون تردده مساوياً للصفر ( $f = 0$ ) وتبعاً للعلاقة ( $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ ) تصبح قيمة المفاعلة السعوية مالانهاية.

### ملاحظات

\* عند توصيل دينامو تيار متردد بمقاومته الأومية مهملة بمكثف وتغيير تردد ملف الدينامو نجد أن شدة التيار العظمى تتناسب طردياً مع مربع تردد التيار حيث إنها تحسب من العلاقة ،

$$I_{\max} = \frac{V_{\max}}{X_C} = \frac{NBA\omega}{\frac{1}{\omega C}} = NBA\omega^2 C = NBA \times 4\pi^2 f^2 C$$

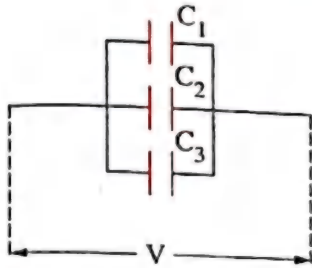
\* لا تسبب المفاعلة السعوية لمكثف فقداً في الطاقة الكهربائية،

**لأن** المكثف أثناء عملية الشحن يخزن الطاقة الكهربائية على صورة مجال كهربى وأثناء التفريغ يفرغ شحنته على صورة طاقة كهربية.

## السعة المكافئة لعدة مكثفات متصلة معاً

\* عند توصيل عدة مكثفات معاً :

## على التوازي



يكون فرق الجهد بين طرفي كل مكثف (V) متساوي

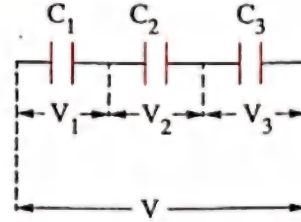
$$\therefore \hat{Q} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$\therefore V\hat{C} = VC_1 + VC_2 + VC_3$$

$$\therefore \hat{C} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\therefore \frac{1}{\hat{X}_C} = \frac{1}{(X_C)_1} + \frac{1}{(X_C)_2} + \frac{1}{(X_C)_3}$$

## على التوالي



يتم شحن المكثفات بشحنات متساوية (Q) ويتوزع فرق الجهد (V) عليها

$$\therefore \hat{V} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\therefore \frac{Q}{\hat{C}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\therefore \frac{1}{\hat{C}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\therefore \hat{X}_C = (X_C)_1 + (X_C)_2 + (X_C)_3$$

إذا كانت المكثفات متساوية السعة وعددها n

$$\hat{C} = nC_1$$

$$\hat{X}_C = \frac{(X_C)_1}{n}$$

$$\hat{C} = \frac{C_1}{n}$$

$$\hat{X}_C = n(X_C)_1$$

## مثال ١

ثلاثة مكثفات سعتها  $20 \mu F$  ،  $80 \mu F$  ،  $40 \mu F$  وصلت معاً على التوازي مع مصدر قوته الدافعة  $100 V$  وتردده  $50 Hz$  ، أوجد شدة التيار المار في الدائرة.

## الحل

$$C_1 = 20 \times 10^{-6} F$$

$$C_2 = 80 \times 10^{-6} F$$

$$C_3 = 40 \times 10^{-6} F$$

$$V = 100 V$$

$$f = 50 Hz$$

$$I = ?$$



∴ المكثفات متصلة معاً على التوازي.

$$\hat{C} = C_1 + C_2 + C_3$$

$$= (20 \times 10^{-6}) + (80 \times 10^{-6}) + (40 \times 10^{-6})$$

$$= 140 \times 10^{-6} \text{ F}$$

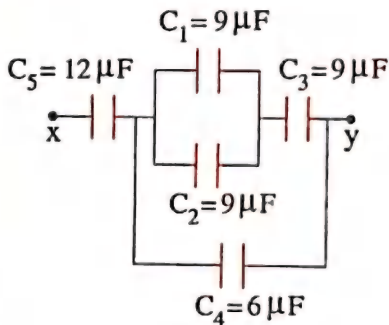
$$\hat{X}_C = \frac{1}{2 \pi f \hat{C}} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 140 \times 10^{-6}} = 22.73 \Omega$$

$$I = \frac{V}{\hat{X}_C} = \frac{100}{22.73} = 4.4 \text{ A}$$

## مثال ٢

من الشكل المقابل، احسب

السعة الكلية لمجموعة المكثفات بين النقطتين x ، y .



## الحل

$C_1$  ،  $C_2$  متصلين على التوازي :

$$\hat{C}_1 = 9 + 9 = 18 \mu\text{F}$$

$\hat{C}_1$  ،  $C_3$  متصلين على التوالي :

$$\hat{C}_2 = \frac{18 \times 9}{18 + 9} = 6 \mu\text{F}$$

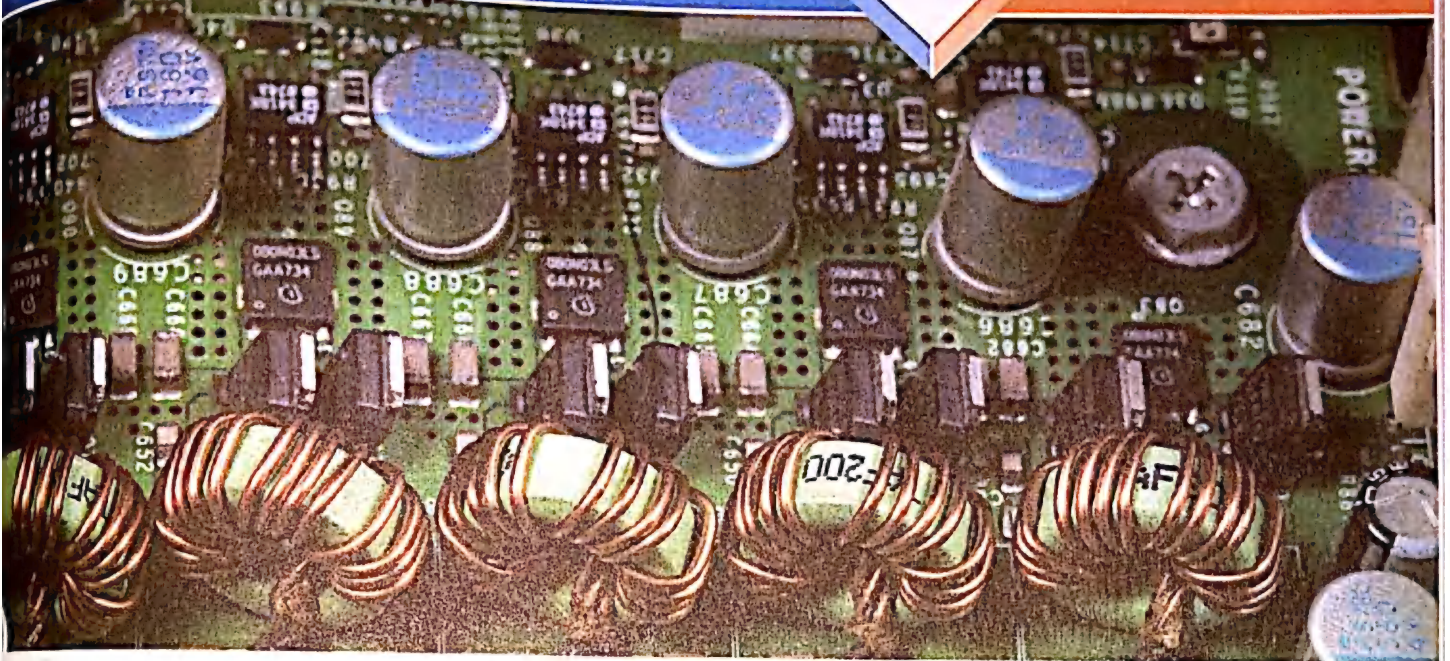
$\hat{C}_2$  ،  $C_4$  متصلين على التوازي :

$$\hat{C}_3 = 6 + 6 = 12 \mu\text{F}$$

$\hat{C}_3$  ،  $C_5$  متصلين على التوالي :

$$C_{\text{كلية}} = \frac{12}{2} = 6 \mu\text{F}$$





### المعاوقة Impedance

\* الدوائر الكهربائية التي تحتوى على مقاومات (R) وملفات حث (L) ومكثفات (C) ومصدر للتيار المتردد توجد بها مفاعلة للتيار المتردد (مفاعلة حثية أو مفاعلة سعوية) بالإضافة إلى المقاومات الأومية ومقاومة الأسلاك ويطلق على مكافئ المفاعلة والمقاومة معاً اسم **المعاوقة (Z)**.

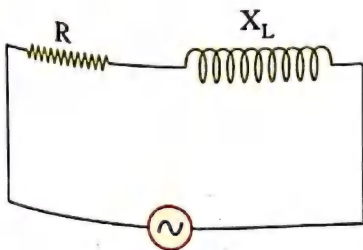
### المعاوقة (Z)

مكافئ المقاومة والمفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية فى دائرة تيار متردد.

\* تقاس المعاوقة بوحدة الأوم ( $\Omega$ ).

### رابعاً دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة أومية وملف حث متصلين على التوالي RL Circuit

\* من المستحيل عملياً وجود ملف حث عديم المقاومة لأن أى ملف يمتلك قدر ولو ضئيل من المقاومة الناتجة عن مقاومة الأسلاك المستخدمة فى صناعته.



\* عند وجود دائرة كهربائية تحتوى على مصدر تيار متردد متصل على التوالي مع ملف حث له مقاومة أومية أو ملف حث متصل بمقاومة أومية كما بالشكل المقابل، فإنه :



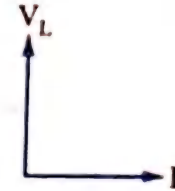
### في المقاومة الاومية

يتفق فرق الجهد ( $V_R$ ) والتيار ( $I$ ) في الطور



### في ملف الحث

يتقدم فرق الجهد ( $V_L$ ) على التيار ( $I$ ) بمقدار  $\frac{1}{4}$  دورة (زاوية طور  $90^\circ$ )



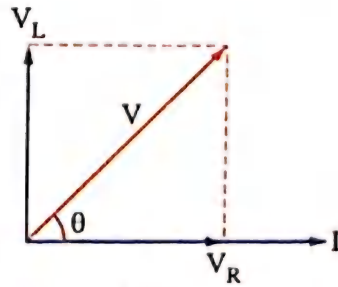
ويتساوى التيار في المقاومة مع التيار في ملف الحث في القيمة ويتفقا في الطور لأنهم متصلين معاً على التوالي

وبالتالي :

- يتقدم فرق الجهد عبر الملف ( $V_L$ ) على فرق الجهد عبر المقاومة ( $V_R$ ) بزاوية طور  $90^\circ$  ويتعين فرق الجهد الكلى ( $V$ ) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

- يتقدم فرق الجهد الكلى ( $V$ ) في الطور على شدة التيار ( $I$ ) (أو فرق الجهد بين طرفي المقاومة  $V_R$ ) بزاوية  $\theta$  تتعين من العلاقة :



$$\tan \theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R}$$

حيث : ( $\theta$ ) دائماً موجبة ( $90^\circ > \theta > 0^\circ$ )

$$\therefore V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_L = IX_L$$

$$\therefore IZ = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\therefore Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

بالقسمة على  $I$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_L}{X_L}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلى ( $I$ ) من العلاقة :

## مثال

مصدر تيار متردد قوته الدافعة الفعالة 80 V وتردده 50 Hz موصل على التوالي مع ملف حثه الذاتى  $\frac{21}{220}$  H ومقاومة  $40 \Omega$ ، احسب :

- (أ) المعاوقة الكلية.  
 (ب) فرق الجهد بين طرفى كل من المقاومة والملف، وهل يمكن جمع الجهود جبرياً ؟  
 (ج) زاوية الطور بين التيار والجهد الكلى.

## الحل

$$V = 80 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$L = \frac{21}{220} \text{ H}$$

$$R = 40 \Omega$$

$$Z = ?$$

$$V_R = ?$$

$$V_L = ?$$

$$\theta = ?$$

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{21}{220} = 30 \Omega \quad (1)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(40)^2 + (30)^2} = 50 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{80}{50} = 1.6 \text{ A} \quad (ب)$$

$$V_R = IR = 1.6 \times 40 = 64 \text{ V}$$

$$V_L = IX_L = 1.6 \times 30 = 48 \text{ V}$$

$$\vec{V} = 64 + 48 = 112 \text{ V}$$

المجموع الجبرى لفروق الجهد :

وهو أكبر من القوة الدافعة للمصدر،

أما إذا جُمعت فروق الجهد جمعاً اتجاهياً فإن :

$$\vec{V} = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(64)^2 + (48)^2} = 80 \text{ V}$$

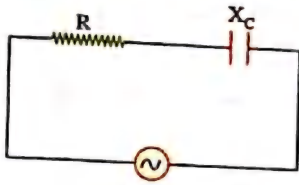
وهذه القيمة (80 V) تساوى القوة الدافعة الكهربية للمصدر الكهربى لذلك لا تجمع الجهود جبرياً.

(ج)

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R} = \frac{30}{40} = 0.75$$

$$\theta = 36.87^\circ$$

## خامساً دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة ومكثف متصلين على التوالي RC Circuit



\* عند وجود دائرة كهربائية تحتوى على مكثف ومقاومة أومية ومصدر تيار متردد موصلة على التوالي كما بالشكل المقابل، فإنه :

في المقاومة الأومية	في المكثف
يتفق فرق الجهد ( $V_R$ ) والتيار ( $I$ ) في الطور	يتأخر فرق الجهد ( $V_C$ ) عن التيار ( $I$ ) بمقدار $\frac{1}{4}$ دورة (زاوية طور $90^\circ$ )

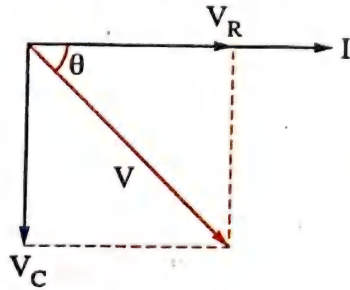
ويمر نفس التيار المتردد في المقاومة وفي دائرة المكثف أى أن التيار له نفس الطور لكل منهما لأنهما متصلين معاً على التوالي

وبالتالي :

- يتأخر فرق الجهد عبر المكثف ( $V_C$ ) عن فرق الجهد عبر المقاومة ( $V_R$ ) بزاوية طور  $90^\circ$  ويتعين فرق الجهد الكلى ( $V$ ) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

- يتأخر فرق الجهد الكلى ( $V$ ) فى الطور عن شدة التيار ( $I$ ) (أو فرق الجهد بين طرفي المقاومة  $V_R$ ) بزاوية  $\theta$  تتعين من العلاقة :



$$\tan \theta = \frac{-V_C}{V_R} = \frac{-IX_C}{IR} = \frac{-X_C}{R}$$

حيث : ( $\theta$ ) دائماً سالبة ( $90^\circ > \theta > 0^\circ$ )، والإشارة السالبة تعنى أن الجهد الكلى  $V$  متأخر عن التيار  $I$  بزاوية  $\theta$

$$\therefore V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_C = IX_C$$

$$\therefore IZ = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_C^2} = I \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

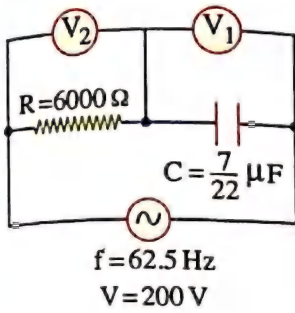
$$\therefore Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

بالقسمة على  $I$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_C}{X_C}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلى ( $I$ ) من العلاقة :

## مثال ١



في الدائرة الموضحة،

احسب قراءة كل من  $V_1$  ،  $V_2$

## الحل

$$R = 6000 \Omega$$

$$C = \frac{7}{22} \mu F$$

$$f = 62.5 \text{ Hz}$$

$$V = 200 \text{ V}$$

$$V_1 = ?$$

$$V_2 = ?$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 62.5 \times \frac{7}{22} \times 10^{-6}} = 8000 \Omega$$

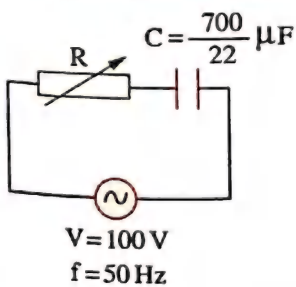
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(6000)^2 + (8000)^2} = 10000 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{10000} = 0.02 \text{ A}$$

$$\therefore V_1 = V_C = IX_C = 0.02 \times 8000 = 160 \text{ V}$$

$$\therefore V_2 = V_R = IR = 0.02 \times 6000 = 120 \text{ V}$$

## مثال ٢



في الدائرة الموضحة، ما قيمة  $R$  التي تجعل التيار المار في الدائرة  $0.2 \text{ A}$  ؟

## الحل

$$C = \frac{700}{22} \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$V = 100 \text{ V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$I = 0.2 \text{ A}$$

$$R = ?$$

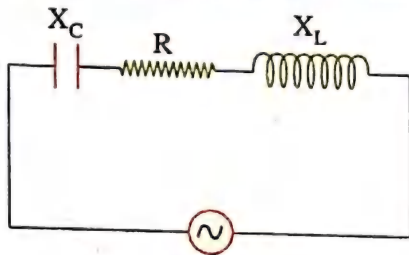
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{100}{0.2} = 500 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{700}{22} \times 10^{-6}} = 100 \Omega$$

$$\therefore Z^2 = X_C^2 + R^2$$

$$\therefore R = \sqrt{Z^2 - X_C^2} = \sqrt{(500)^2 - (100)^2} = 489.9 \Omega$$

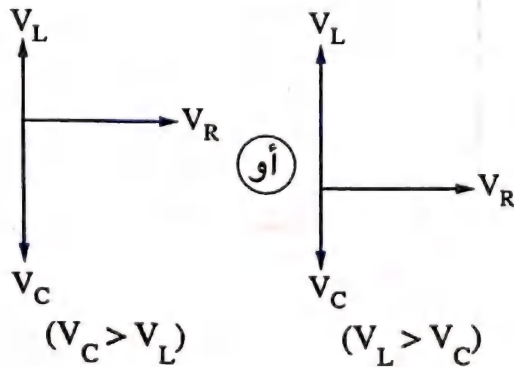
### سادساً دائرة تيار متردد تحتوى على مقاومة وملف حث ومكثف متصلة معاً على التوالي RLC Circuit



\* عند وجود دائرة كهربية تحتوى على مكثف ومقاومة أومية وملف حث ومصدر تيار متردد متصلة جميعاً على التوالي كما بالشكل المقابل، فإنه :

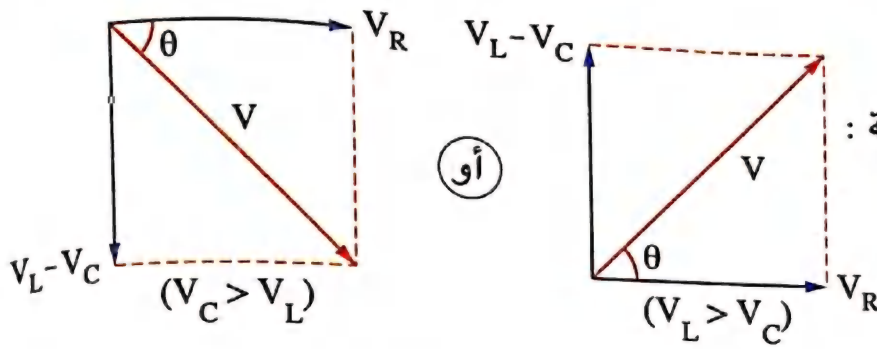
في المكثف	في المقاومة الأومية	في ملف الحث
يتأخر فرق الجهد ( $V_C$ ) عن التيار ( $I$ ) بزاوية طور $90^\circ$	يتفق فرق الجهد ( $V_R$ ) والتيار ( $I$ ) فى الطور	يتقدم فرق الجهد ( $V_L$ ) على التيار ( $I$ ) بزاوية $90^\circ$

و يمر نفس التيار فى كل من المقاومة وملف الحث ودائرة المكثف أى أن التيار له نفس الطور لكل منهم لأنهم متصلين جميعاً على التوالي



وبالتالى :

- يتقدم الجهد فى الملف ( $V_L$ ) عن الجهد فى المقاومة ( $V_R$ ) بزاوية  $90^\circ$  ويتأخر الجهد فى المكثف ( $V_C$ ) عن الجهد فى المقاومة ( $V_R$ ) بزاوية  $90^\circ$  وبذلك يكون فرق الطور بين  $V_L$  و  $V_C$  يساوى  $180^\circ$



- يتعين فرق الجهد الكلي (V) باستخدام المتجهات من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

$$\therefore V = IZ \quad , \quad V_R = IR \quad , \quad V_L = IX_L \quad , \quad V_C = IX_C$$

$$\therefore IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\therefore Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

بالقسمة على I

- يمكن تعيين زاوية الطور (θ) بين الجهد الكلي (V) والتيار (I) من العلاقة :

$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{V_R}{R} = \frac{V_L}{X_L} = \frac{V_C}{X_C}$$

- يمكن تعيين شدة التيار الكلي (I) من العلاقة :

\* وبالتالي تتأثر زاوية الطور (θ) بتغير قيم المفاعلات الحثية والسعوية فعندما تكون :

$V_L < V_C$ $X_L < X_C$	$V_L = V_C$ $X_L = X_C$	$V_L > V_C$ $X_L > X_C$	تكون زاوية الطور (θ)
سالبة أي أنه : الجهد الكلي (V) يتأخر عن التيار (I) بزاوية (θ)	مساوية للصفر أي أنه : الجهد الكلي (V) يتفق مع التيار (I) في الطور	موجبة أي أنه : الجهد الكلي (V) يتقدم على التيار (I) بزاوية (θ)	
سعوية	أومية	حثية	وتكون للدائرة خواص

## ملاحظات

\* في دائرة RL أو RC أو RLC تكون القدرة ( $P_w$ ) المستنفذة في الدائرة هي القدرة المستنفذة

$$\text{عبر المقاومة الأومية في صورة طاقة حرارية تبعاً للعلاقة: } (P_w = I^2 R = \frac{V_R^2}{R})$$

\* لا يمكن جمع الجهود جبرياً في حالة استخدام تيار متردد يمر في دائرة RLC،

**لأنه** في ملف الحث يتقدم فرق الجهد ( $V_L$ ) على التيار ( $I$ ) بزاوية  $90^\circ$ ، وعبر المكثف يتخلف فرق الجهد ( $V_C$ ) عن التيار ( $I$ ) بزاوية  $90^\circ$ ، أما في حالة مقاومة أومية عديمة الحث يكون فرق الجهد والتيار لهما نفس الطور، وبالتالي لا يمكن جمع الجهود لأنها تعامل كمتجهات فيتم جمعها جمع اتجاهي  $(V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2})$ .

## مثال ١

دائرة تيار متردد تحتوي على ملف ومقاومة ومكثف متصلة معاً على التوالي فإذا كان فرق الجهد عبر الملف 80 V وعبر المقاومة 40 V وعبر المكثف 50 V وكان التيار في الدائرة 2 A، ارسم مخطط الجهود، ثم احسب:

(أ) فرق الجهد الكلي.

(ب) زاوية الطور، وما خواص الدائرة؟

(ج) القدرة الحرارية المستنفذة.

## الحل

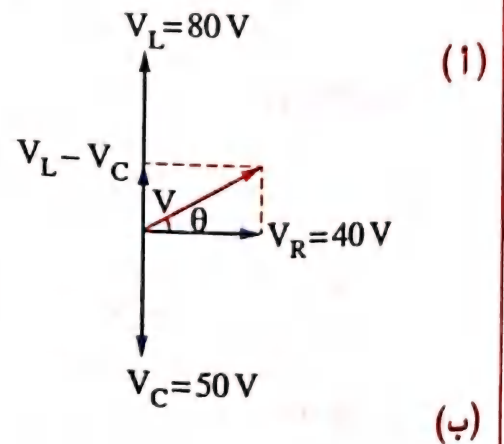
$$V_L = 80 \text{ V} \quad V_R = 40 \text{ V} \quad V_C = 50 \text{ V} \quad I = 2 \text{ A}$$

$$V = ? \quad \theta = ? \quad P_w = ? \quad Z = ?$$

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \\ &= \sqrt{(40)^2 + (80 - 50)^2} \\ &= 50 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{80 - 50}{40} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

$$\theta = 36.87^\circ$$



للدائرة خواص حثية لأن الجهد الكلي (V) يتقدم على التيار (I) بزاوية  $36.87^\circ$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{40}{2} = 20 \Omega$$

$$P_w = I^2 R = 4 \times 20 = 80 \text{ W}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$

(ج)

(د)

### مثال ٢

وصل مكثف سعته  $5 \mu\text{F}$  على التوالي بملف حثه ذاتي  $0.06 \text{ H}$  ومولد تيار متردد تردده  $400 \text{ Hz}$  يعطى فرقاً في الجهد عند طرفي مخرجه  $30 \text{ V}$  فإذا كانت المقاومة الأومية للدائرة  $90 \Omega$ ، أوجد :

(أ) المفاعلة الحثية للملف والمفاعلة السعوية للمكثف.

(ب) معاوقة الدائرة.

(ج) شدة التيار.

(د) زاوية الطور.

### الحل

$$C = 5 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$L = 0.06 \text{ H}$$

$$f = 400 \text{ Hz}$$

$$V = 30 \text{ V}$$

$$R = 90 \Omega$$

$$X_L = ?$$

$$X_C = ?$$

$$Z = ?$$

$$I = ?$$

$$\theta = ?$$

$$X_L = 2 \pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 400 \times 0.06 = 150.86 \Omega \quad (1)$$

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f C} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times 400 \times 5 \times 10^{-6}} = 79.55 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(90)^2 + (150.86 - 79.55)^2} \quad (ب)$$

$$= 114.83 \Omega$$

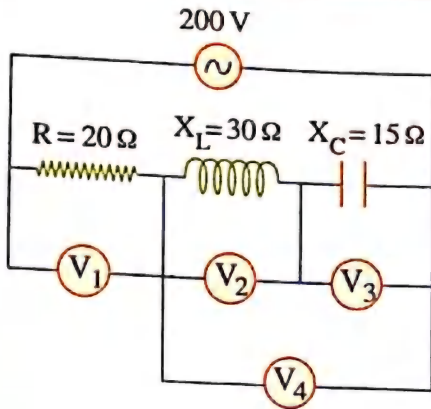
$$I = \frac{V}{Z} = \frac{30}{114.83} = 0.26 \text{ A} \quad (ج)$$

$$\tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{150.86 - 79.55}{90} \quad (د)$$

$$\therefore \theta = 38.39^\circ$$

أي أن: الجهد الكلي يتقدم على التيار بزاوية قدرها  $38.39^\circ$

مثال ٣



الشكل المقابل يوضح دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة أومية وملف حث ومكثف، احسب:  
(أ) شدة التيار المار بالدائرة.  
(ب) قراءة كل من الفولتميترات الأربعة.

الحل

$$V = 200 \text{ V} \quad R = 20 \Omega \quad X_L = 30 \Omega \quad X_C = 15 \Omega$$

$$I = ? \quad V_1 = ? \quad V_2 = ? \quad V_3 = ? \quad V_4 = ?$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1)$$

$$= \sqrt{(20)^2 + (30 - 15)^2}$$

$$= 25 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{25} = 8 \text{ A}$$

$$V_1 = IR = 8 \times 20 = 160 \text{ V}$$

$$V_2 = IX_L = 8 \times 30 = 240 \text{ V}$$

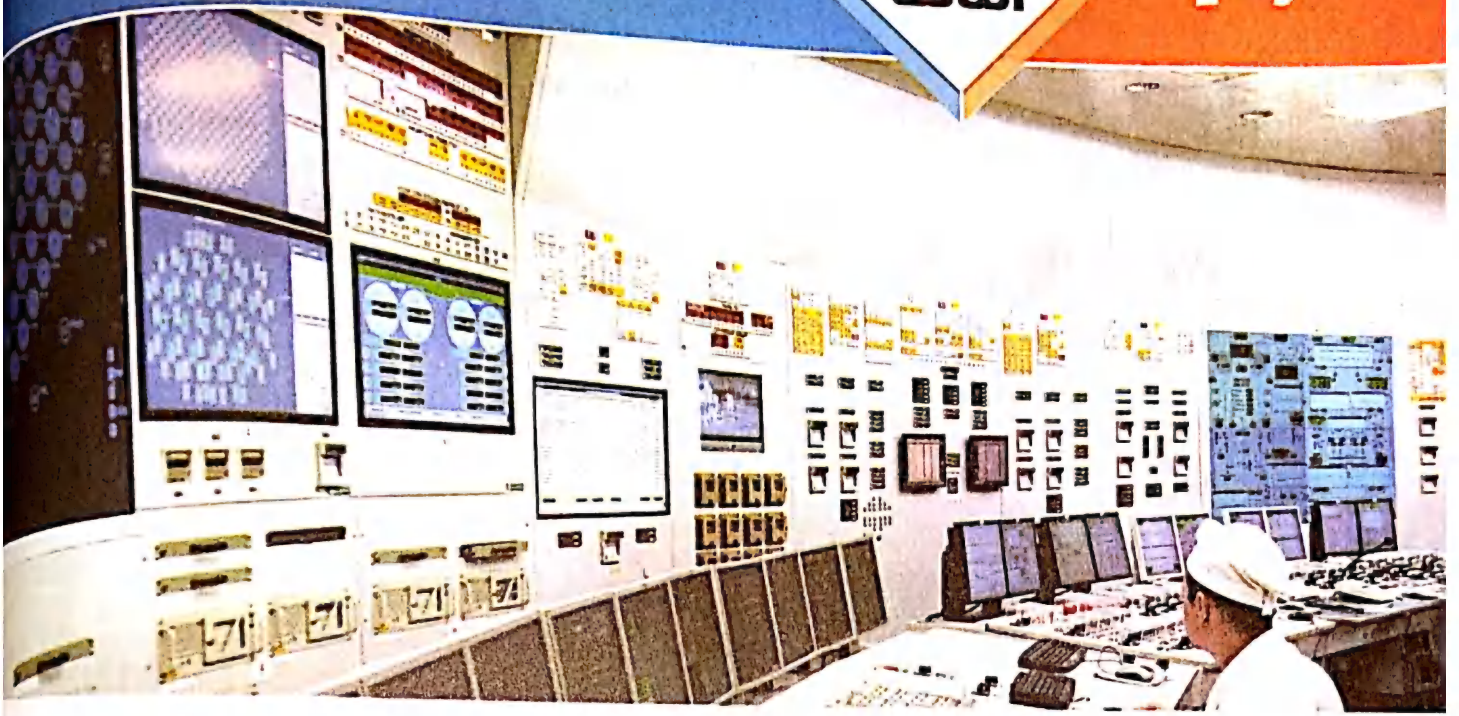
$$V_3 = IX_C = 8 \times 15 = 120 \text{ V}$$

$$V_4 = V_2 - V_3$$

$$= 240 - 120$$

$$= 120 \text{ V}$$





درست خلال هذا الفصل العلاقة بين تردد التيار وكل من  $R$  و  $X_L$  و  $X_C$  و  $Z$  و  $I$  والتي يمكن تمثيلها بيانياً بالشكل التالي، ومنه :

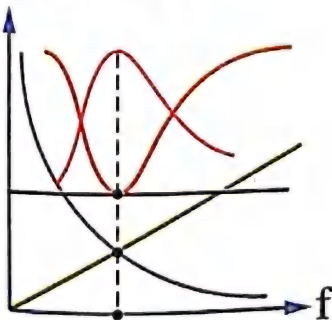
تظل قيمة المقاومة الأومية ثابتة بتغير تردد التيار.

تزداد المفاعلة الحثية للملف بزيادة تردد التيار ( $X_L \propto f$ ).

تقل المفاعلة السعوية للمكثف بزيادة تردد التيار ( $X_C \propto \frac{1}{f}$ ).

مبتدئاً من التردد = صفر :

( $X_L, X_C, R, Z, I$ )



- تقل معاوقة الدائرة ( $Z$ ) بزيادة تردد التيار حتى تصل إلى نهاية صغرى تساوى ( $R$ ) عندما تكون  $X_L = X_C$  وهو ما يطلق عليه حالة الرنين، ثم تزداد معاوقة الدائرة ( $Z$ ) بعد ذلك بزيادة تردد التيار.

= تزداد شدة التيار الكلى ( $I$ ) المار بالدائرة بزيادة التردد حتى تصل إلى نهاية عظمى ( $I_{max}$ ) عندما تكون  $X_L = X_C$  ثم تقل بعد ذلك بزيادة التردد ويرجع ذلك إلى أن شدة التيار تتناسب عكسياً مع معاوقة الدائرة.



## حالة الرنين

\* عندما تكون الدائرة فى حالة رنين، فإن :

- ١) المفاعلة الحثية للملف ( $X_L$ ) = المفاعلة السعوية للمكثف ( $X_C$ ) وتلاشى كل منهما تأثير الأخرى.
  - ٢) فرق الجهد بين طرفى الملف ( $V_L$ ) = فرق الجهد بين طرفى المكثف ( $V_C$ )، وبالتالي يكون فرق الجهد بين طرفى المقاومة ( $V_R$ ) = فرق الجهد بين طرفى المصدر المتردد ( $V$ ).
  - ٣) الدائرة يكون لها أقل معاوقة وهى المقاومة الأومية ( $Z = R$ ).
  - ٤) الدائرة يمر فيها أكبر قيمة فعالة للتيار ( $I = \frac{V}{R}$ ).
  - ٥) التيار يتفق مع فرق الجهد الكلى فى الطور أى أن زاوية الطور ( $\theta$ ) = صفر.
  - ٦) تردد الدائرة (تردد الرنين) مساوى لتردد المصدر.
- إذا تحقق أحد هذه الشروط تتحقق باقى الشروط.

## استنتاج تردد الرنين

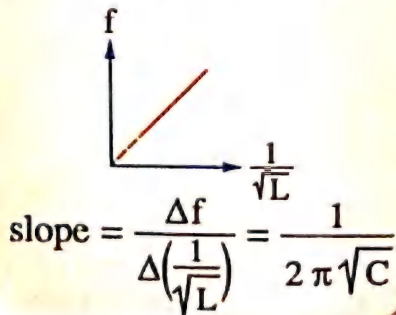
\* فى حالة الرنين تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية :

$$\begin{aligned} \therefore X_L &= X_C \\ \therefore 2\pi fL &= \frac{1}{2\pi fC} \\ \therefore f^2 &= \frac{1}{4\pi^2 LC} \\ \therefore f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{aligned}$$

## العوامل التى يتوقف عليها تردد الرنين

٢

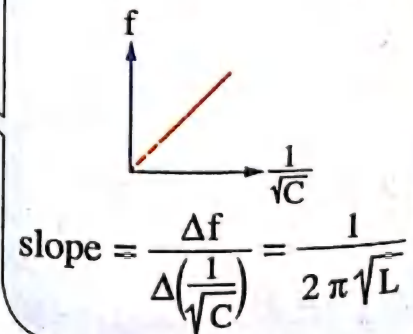
معامل الحث الذاتى للملف :  
يتناسب تردد الرنين تناسباً  
عكسياً مع الجذر التربيعى  
لمعامل الحث الذاتى للملف.



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

١  
سعة المكثف :

يتناسب تردد الرنين تناسباً عكسياً  
مع الجذر التربيعى لسعة  
المكثف.



## مثال

أوجد تردد التيار في دائرة RLC في حالة رنين إذا كان معامل الحث الذاتي للملف 16 mH وسعة المكثف 4.9 μF

الحل

$$L = 16 \text{ mH}$$

$$C = 4.9 \text{ } \mu\text{F}$$

$$f = ?$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times \frac{22}{7} \times \sqrt{16 \times 10^{-3} \times 4.9 \times 10^{-6}}} = 568.18 \text{ Hz}$$

## إرشاد

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{L_2 C_2}{L_1 C_1}}$$

\* في حالة المقارنة بين ترددي دائرتي رنين فإن :

## مثال

وصل ملف بمكثف سعته 18 μF في دائرة تيار متردد فكان تردد الرنين لهذه الدائرة 2 × 10<sup>4</sup> Hz وعندما وصل نفس الملف بمكثف آخر أصبح تردد الرنين 3 × 10<sup>4</sup> Hz. احسب سعة المكثف الثاني.

الحل

$$C_1 = 18 \text{ } \mu\text{F}$$

$$f_1 = 2 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 3 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$$C_2 = ?$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$\frac{2 \times 10^4}{3 \times 10^4} = \sqrt{\frac{C_2}{18}}$$

$$\frac{4}{9} = \frac{C_2}{18}$$

$$C_2 = 8 \text{ } \mu\text{F}$$



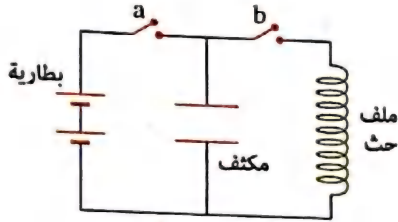
## الدائرة المهتزة Oscillator Circuit

### الدائرة المهتزة

دائرة كهربية يحدث بها تبادل للطاقة المخزنة في ملف حث على هيئة مجال مغناطيسي مع الطاقة المخزنة في مكثف على هيئة مجال كهربى.

**الاستخدام :** تستخدم فى أجهزة إرسال موجات اللاسلكى.

### التركيب :

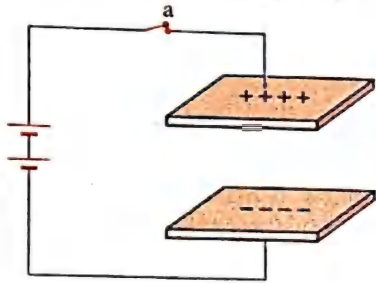


١ ملف حث له مقاومة صغيرة جداً. ٢ مكثف.

٣ مصدر تيار مستمر (بطارية). ٤ مفتاحين a , b

### شرح العمل :

١ عند غلق المفتاح a وترك المفتاح b مفتوح :



- يمر تيار لحظى فى الدائرة يسبب شحن لوح المكثف المتصل بالقطب الموجب للبطارية بشحنة موجبة وشحن لوح المكثف المتصل بالقطب السالب للبطارية بشحنة سالبة.

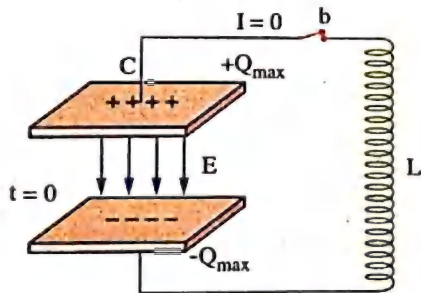
- يتوقف مرور التيار الكهربى عندما يتساوى

فرق الجهد المتولد بين لوحى المكثف مع فرق جهد البطارية.

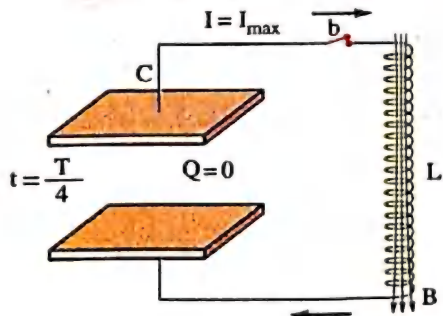
- نتيجة وجود فرق جهد بين لوحى المكثف يتولد مجال كهربى بينهما وتختزن الطاقة على هيئة مجال كهربى.

- عند فتح المفتاح a يبقى المكثف مشحوناً.

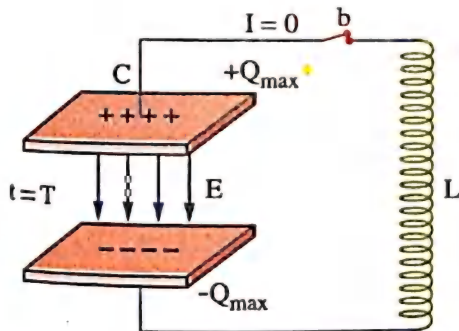
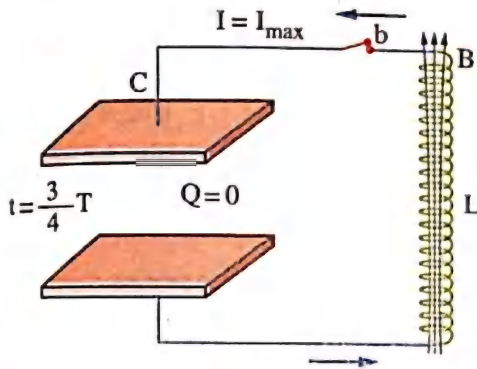
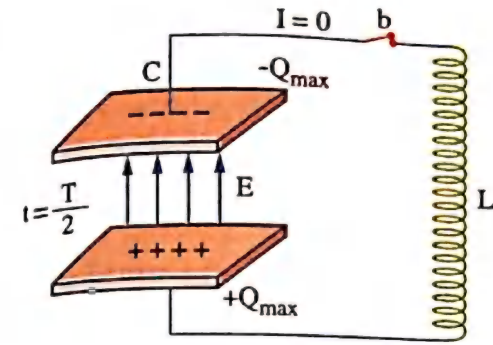
٢ عند غلق المفتاح b والإبقاء على المفتاح a مفتوح :



- يبدأ المكثف فى تفريغ شحنته عبر الملف، ونظراً لأن فرق الجهد بين لوحى المكثف كبير يكون معدل تغير التيار المار فى الملف نهاية عظمى ويمر من اللوح الموجب إلى اللوح السالب خلال الدائرة الخارجية تيار لحظى تتزايد قيمته تدريجياً من الصفر.



- أثناء تفريغ المكثف يقل فرق الجهد بين لوحى المكثف تدريجياً مما يؤدي إلى تناقص معدل تغير التيار المار فى الدائرة مع زيادة قيمته حتى يصل إلى قيمة عظمى عند تمام تفريغ المكثف، فتتحول الطاقة الكهربائية المختزنة فى المكثف إلى طاقة مغناطيسية تختزن فى الملف.



- نظراً لأن المكثف فرغ شحنته بالكامل فإن فرق الجهد في الدائرة ينعدم وبالتالي تبدأ شدة التيار في النقصان مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربية مستحثة طردية بالحث الذاتي للملف تسحب المزيد من الشحنة الموجبة من اللوح الموجب إلى اللوح السالب فيبدأ تحول الطاقة المغناطيسية المخزنة في الملف إلى طاقة كهربية تختزن في المكثف فيُشحن اللوح الذي كان سالباً بشحنة موجبة ويشحن اللوح الذي كان موجباً بشحنة سالبة مما يؤدي إلى تولد فرق جهد بين لوحي المكثف في اتجاه معاكس لاتجاهه لحظة غلق المفتاح  $b$  حتى يتم شحن المكثف بالكامل فتكون الطاقة المغناطيسية المخزنة في الملف قد تحولت بالكامل لطاقة كهربية تختزن في المكثف وهنا تكون شدة التيار وصلت إلى الصفر.

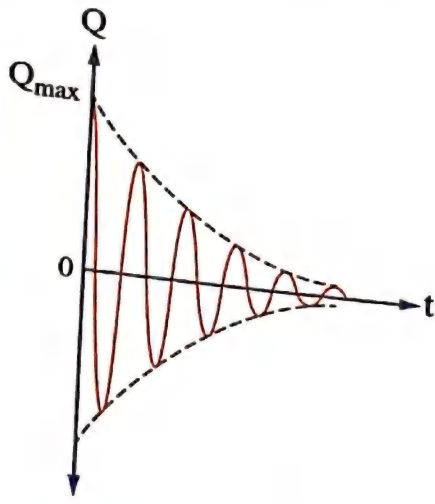
- يفرغ المكثف مرة أخرى شحنته (في اتجاه معاكس لاتجاه التفريغ الأول).

وهكذا تتكرر عملية التفريغ والشحن وتحدث اهتزازات كهربية سريعة جداً في الدائرة يحدث خلالها تبادل الطاقة باستمرار بين المجالين الكهربى والمغناطيسى.

### ملاحظات

\* تتوقف عملية الشحن والتفريغ في الدائرة المهتزة بعد فترة،

**لوجود** مقاومة في الملف وأسلاك التوصيل فيتحول جزء من الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية مما يؤدي إلى فقد تدريجي في الطاقة الكهربية فتقل شدة التيار المتردد في الدائرة تدريجياً ويقل أقصى فرق جهد بين لوحي المكثف تدريجياً إلى أن ينعدم وتتوقف عمليتي الشحن والتفريغ وينعدم التيار.



\* لكي تستمر عملية الشحن والتفريغ في الدائرة المهتزة يجب تغذية المكثف بشحنات إضافية كل فترة،

**للعويض** الفقد المستمر في الطاقة الكهربائية الناتج عن مقاومة الملف والأسلاك الأخرى.  
\* يمثل الشكل البياني المقابل اضمحلال الشحنة على لوحى المكثف بمرور الزمن :

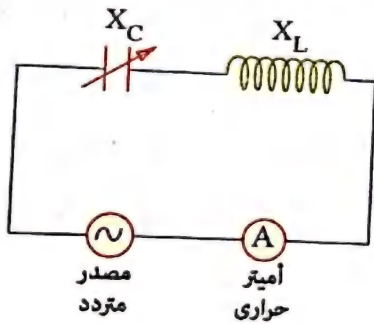
### دائرة الرنين Tuning Circuit

#### دائرة الرنين

دائرة مهتزة تحتوى على مقاومة وملف حث ومكثف ومصدر متردد ولا تسمح إلا بمرور التيار الذى يتفق تردده مع ترددها أو يكون قريباً جداً منه.

#### الاستخدام :

تستخدم فى أجهزة الاستقبال اللاسلكى لاختيار موجة البث المراد استقبالها.



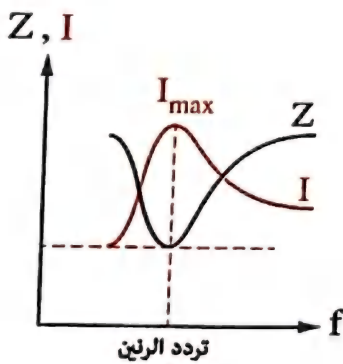
#### التركيب :

- ١ مكثف متغير السعة.
- ٢ ملف حث مقاومته صغيرة ويمكن تغيير عدد لفاته.
- ٣ مصدر تيار متردد يمكن تغيير تردده.

#### شرح العمل :

عند مرور تيار فى الدائرة مع تغيير تردد المصدر الكهربى فإن شدة التيار تتغير حيث :

- تقل كلما زاد الفرق بين تردد المصدر وتردد الدائرة.
- تزيد كلما قل الفرق بين تردد المصدر وتردد الدائرة.
- تكون أكبر ما يمكن إذا أصبح تردد المصدر مساوياً لتردد الدائرة (أى عندما تتساوى المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية) وتكون الدائرة فى حالة رنين.



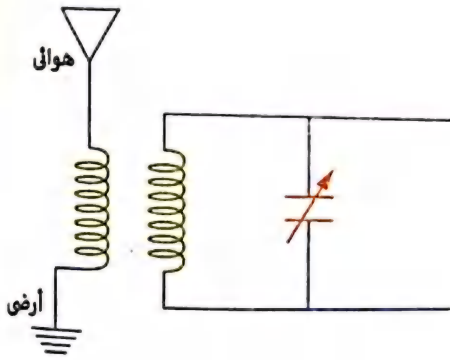
\* مما سبق نستنتج أنه : إذا أثر في دائرة مهتزة مصادر كهربية مختلفة التردد في وقت واحد فإن الدائرة لا تسمح إلا بمرور التيار الذي يتفق تردده مع ترددها أو يكون قريباً جداً منه وتكون الدائرة في تلك اللحظة في حالة رنين.

### ملاحظات



- \* يمكن تغيير تردد المصدر أو سعة المكثف أو عدد لفات الملف (معامل الحث الذاتي للملف) حتى يتفق تردد الدائرة مع تردد المصدر.
- \* يمكن تشبيه ما يحدث في دائرة الرنين بالرنين في الصوت فمثلاً عندما يتساوى تردد شوكتين رنانتين مهترتين يقوى الصوت وعند اختلاف ترددهما يضعف الصوت.

### عمل دائرة الرنين في أجهزة الاستقبال اللاسلكي



- \* تتصل دائرة الرنين في جهاز الاستقبال اللاسلكي بهوائي جهاز الاستقبال (الإيريسال).
- \* تصل إلى الهوائي موجات محطات الإذاعة المختلفة لكل منها تردد معين.
- \* تؤثر هذه الترددات على الهوائي وتولد في ملفه تيارات لها نفس تردد المحطات.

\* دائرة الرنين في جهاز الاستقبال تسمح فقط بمرور التيار الذي يتفق مع تردد الدائرة وعندما تريد الاستماع إلى إذاعة معينة فإنك تغير من تردد الدائرة بتغيير سعة المكثف أو عدد لفات الملف فيمر التيار الذي يتفق تردده مع تردد الدائرة ثم يمر في جهاز الاستقبال ويخضع لعمليات معينة مثل التكبير والتقويم وفصل التيار المعبر عن الصوت الذي يمر في السماع.





## الوحدة الثانية

مقدمة في  
الفيزياء الحديثة

## ازدواجية الموجة والجسيم

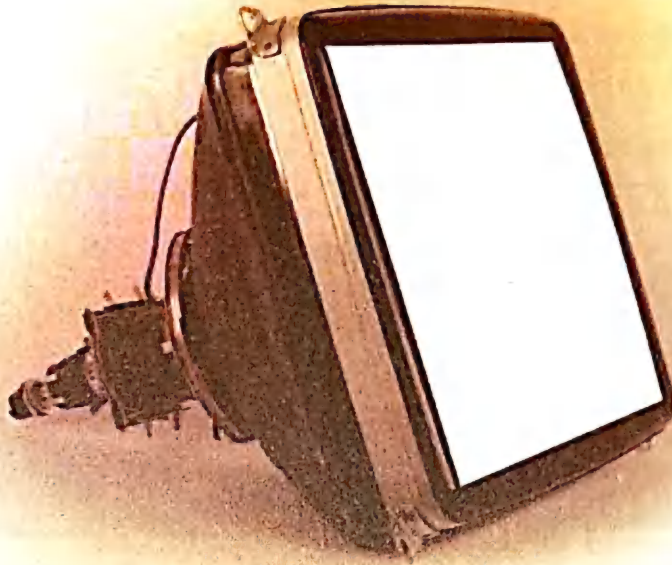
## الفصل 5

### الدرس الأول

- إشعاع الجسم الأسود.
- الانبعاث الحراري والتأثير الكهروضوئي.

### الدرس الثاني

- ظاهرة كومبتون.
- الطبيعة الموجية للجسيم.
- المجهر الإلكتروني.



\* يندرج كل ما درسناه فى الفصول السابقة تحت ما يسمى الفيزياء الكلاسيكية، وهى الفيزياء التى تفسر المشاهدات اليومية والتجارب المعتادة مثل : ميكانيكا نيوتن، ودراسة الحرارة والكهرومغناطيسية والموجات والبصريات.

\* فى بداية القرن العشرين أفضت العديد من التجارب الحديثة إلى نتائج لا تخضع لتفسيرات قوانين الفيزياء الكلاسيكية، مثل :

- الظواهر الإلكترونية التى هى أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة.  
- دراسة الأطياف الذرية.

- التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزيء والتى تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل للكيمياء عام ١٩٩٩م

\* خلال تفسير هذه المشاهدات نشأ فرع جديد يطلق عليه فيزياء الكم، وهو فرع يتعامل مع الظواهر العلمية على المستوى الذرى أو دون الذرى التى قد لا نراها فى حياتنا اليومية بصورة مباشرة ولكن ندرك أثرها.

\* مما سبق يمكن تعريف كل من الفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكم كالتالى :

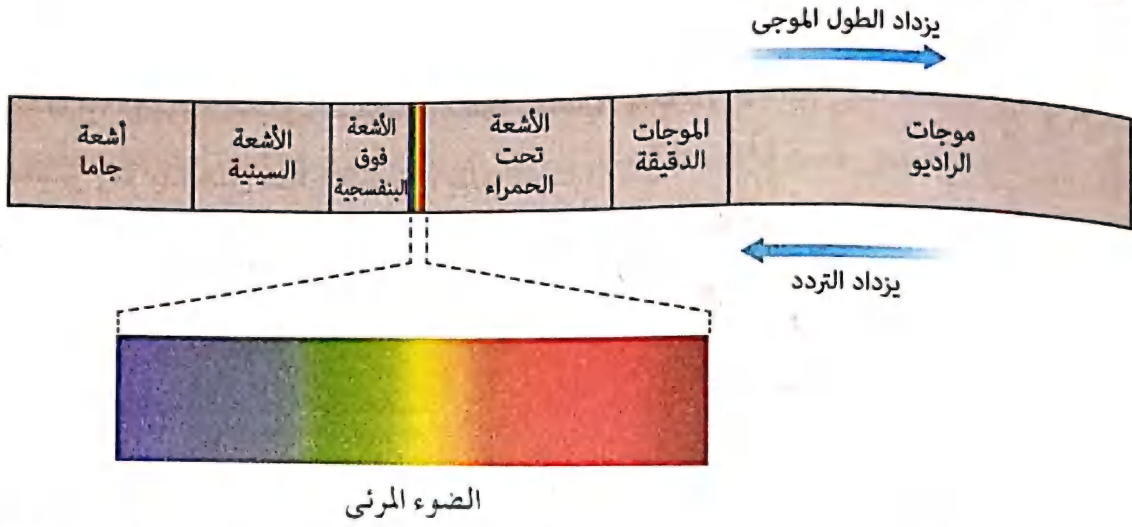
#### الفيزياء الكلاسيكية

الفيزياء التى تمكنا من تفسير مشاهداتنا اليومية والتجارب المعتادة مثل دراستنا للحرارة والكهرباء والموجات كالصوت والضوء ودراسة خصائصها.

#### فيزياء الكم

الفيزياء التى تمكنا من دراسة وتفسير ظواهر لا نراها بصورة مباشرة خاصة عند التعامل على المستوى الذرى مثل دراسة الأطياف الذرية والظواهر الإلكترونية أو على مستوى الجزيء مثل دراسة التفاعلات الكيميائية.

\* تصور علماء الفيزياء الكلاسيكية الضوء على أنه موجات كهرومغناطيسية تختلف في التردد والطول الموجي كما بالشكل :



\* نلاحظ من الشكل السابق أن الطيف الكهرومغناطيسي يتضمن الضوء المرئي كأحد مكوناته.

### خصائص الطيف الكهرومغناطيسي

١ الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

٢ لا يحتاج وسط مادي لانتشاره.

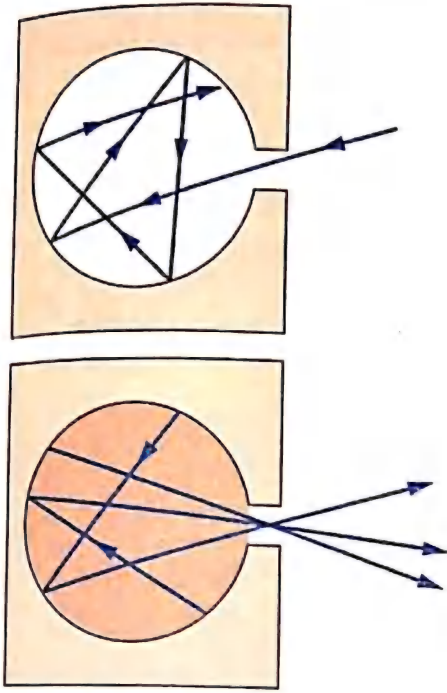
٣ ينتشر في الفراغ بسرعة ثابتة قدرها  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

\* سندرس في هذا الفصل بعض الظواهر التي لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسيرها ولكن تم تفسيرها عن طريق فيزياء الكم، ومنها :



### أولاً إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation

\* معظم الأجسام تعكس جزء من الإشعاع الساقط عليها وتمتص جزء ثم تعيد إشعاع جزء من الإشعاع الممتص إلى الوسط المحيط بها، ولكن هناك نظام (جسم) مثالي يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة (ممتص مثالي) ثم يعيد إشعاعها مرة أخرى (باعث مثالي) يطلق عليه الجسم الأسود، وهو جسم غير موجود في الطبيعة.



تصور للجسم الأسود

\* تتمثل المشكلة الرئيسية في دراسة إشعاع الجسم الأسود في تفسير توزيع الأطوال الموجية لهذا الإشعاع، وقام العلماء بتشبيه إشعاع الجسم الأسود بتجويف مغلق به ثقب صغير وما بداخل هذا التجويف يبدو أسود وذلك لأن :

- معظم الإشعاع يظل محصوراً بداخل التجويف من كثرة الانعكاسات.

- لا يخرج من هذا الإشعاع إلا جزء صغير.

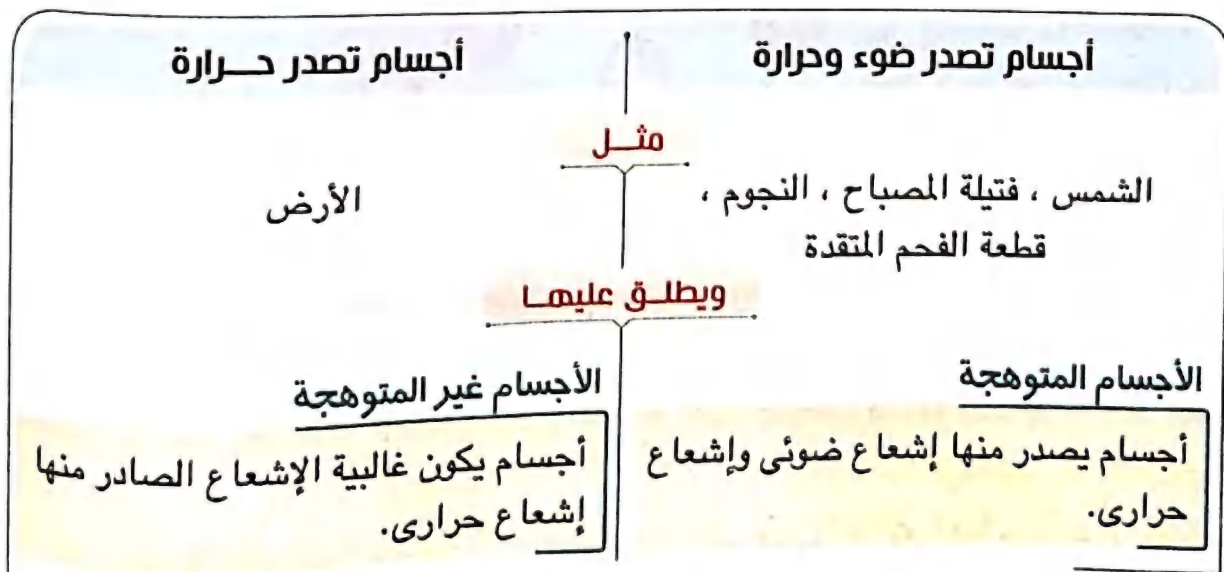
\* مما سبق يمكن تعريف الجسم الأسود كالتالي :

#### الجسم الأسود

جسم يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة (ممتص مثالي) ثم يعيد إشعاعها مرة أخرى (باعث مثالي).

#### الأجسام المتوهجة والأجسام غير المتوهجة

\* تنقسم الأجسام المشعة إلى :





\* وقد لاحظ العلماء أن الإشعاع المنبعث من الجسم المتوهج يختلف باختلاف درجة حرارة الجسم،

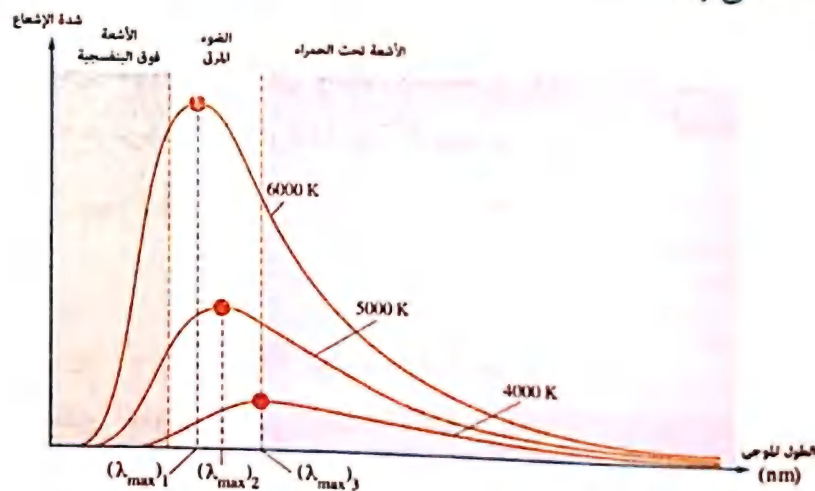
لأن الأجسام المتوهجة لا تشع كل الأطوال الموجية بنفس الشدة ولكن تختلف شدة الإشعاع (المعدل الزمني للطاقة التي يشعها الجسم لوحدة المساحة) مع الطول الموجي، والطول الموجي الذي يكون عنده أقصى شدة إشعاع يتوقف على درجة حرارة المصدر لذلك يتغير اللون الغالب على الضوء الصادر من الجسم.

### ملحنى بلانك Planck's Distribution

#### منحنى بلانك

منحنى يوضح العلاقة البيانية بين شدة الإشعاع الصادر من الجسم المشع والطول الموجي للطيف المنبعث عند درجة حرارة معينة.

\* قام العالم بلانك بتفسير العلاقة بين شدة الإشعاع الصادر من الجسم المشع والطول الموجي للطيف المنبعث عند درجة حرارة معينة من خلال دراسة الإشعاعات الصادرة من مصادر مختلفة عند درجات حرارة مطلقة مختلفة، ووضع منحنى بياني يوضح هذه العلاقة يسمى منحنى بلانك.



\* من الشكل السابق يمكن وصف منحنى بلانك كالتالي :

- ١ عند الأطوال الموجية الطويلة جداً والقصيرة جداً تقترب شدة الإشعاع من الصفر.
- ٢ عند قيمة معينة من الطول الموجي  $(\lambda_{max})$  تكون شدة الإشعاع قيمة عظمى.
- ٣ بزيادة درجة الحرارة تزداد الشدة الكلية للإشعاع ويرتفع مستوى المنحنى (أي تزداد المساحة تحت المنحنى) ويقل الطول الموجي  $(\lambda_{max})$  الذي يقابل أقصى شدة إشعاع أي تزاح قمة المنحنى جهة أطوال موجية أقصر.
- ٤ يتكرر هذا المنحنى مع كل الأجسام الساخنة التي تشع طيفاً متصلًا.

فمثلاً الإشعاع الصادر من :

الشمس	فتيلة مصباح متوهج	سطح الأرض
درجة حرارته		
6000 K	3000 K	منخفضة نسبياً
الطول الموجي الذي عنده أقصى شدة إشعاع يقع في منطقة		
الضوء المرئي ( $\lambda_{\max} \approx 0.5 \mu\text{m} = 500 \text{ nm}$ )	الأشعة تحت الحمراء ( $\lambda_{\max} \approx 1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$ )	الأشعة تحت الحمراء ( $\lambda_{\max} \approx 10 \mu\text{m} = 10000 \text{ nm}$ )
نسبة الإشعاع الصادر		
50 % أشعة تحت حمراء 40 % ضوء مرئي 10 % باقى مناطق الطيف	80 % أشعة تحت حمراء 20 % ضوء مرئي	معظمه أشعة تحت حمراء

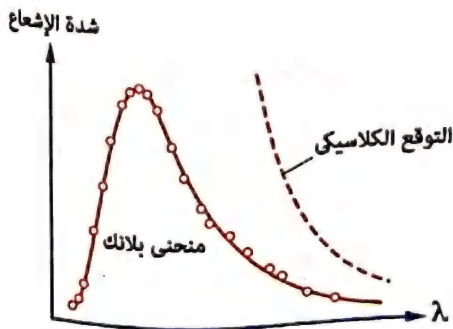
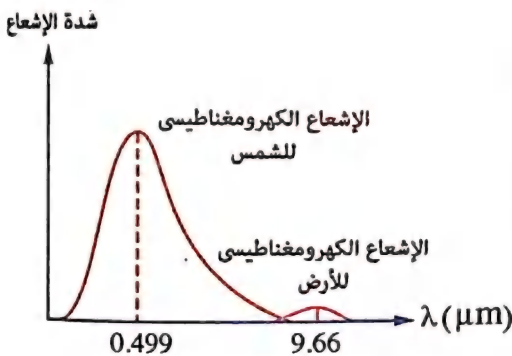
\* من المشاهدات السابقة يتضح أن :

الطول الموجي الذى تصاحبه أقصى شدة إشعاع يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة للجسم المشع ( $\lambda_{\max} \propto \frac{1}{T}$ )، وهو ما يطلق عليه قانون فين،

أى أنه إذا تغيرت درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود من  $T_1$  إلى  $T_2$  يتغير الطول الموجي المصاحب لأقصى شدة إشعاع من  $(\lambda_{\max})_1$  إلى  $(\lambda_{\max})_2$ ، بحيث يكون :

$$\frac{(\lambda_{\max})_1}{(\lambda_{\max})_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

\* لم تتمكن الفيزياء الكلاسيكية من تفسير هذه المشاهدات، لأنها تعتبر أن الإشعاع موجات كهرومغناطيسية متصلة وبالتالي فإن شدة الإشعاع تزداد كلما زاد التردد (نقص الطول الموجي) بينما وجد أن شدة الإشعاع تقل عند الترددات العالية (الأطوال الموجية القصيرة) كما بالشكل.

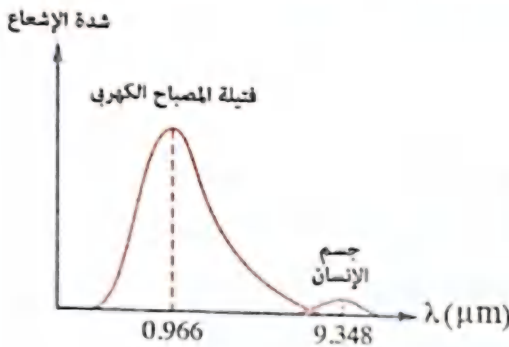




## ملحوظة

\* يزاح اللون الظاهر للإشعاعات الناتجة عن تسخين جسم حتى يصبح مضيء من الأحمر إلى الأصفر ثم أخيراً إلى الأزرق كلما زادت درجة الحرارة،  
لأنه طبقاً لقانون فين تقل قيمة الطول الموجي المصاحب لأقصى شدة إشعاع بزيادة درجة الحرارة فيتحول اللون الغالب للإشعاع الصادر من الأحمر (طول موجي كبير) إلى الأزرق (طول موجي صغير) تدريجياً مروراً باللون الأصفر.

## مثال



الشكل البياني المقابل يوضح تغير شدة الإشعاع المنبعث من جسم الإنسان وفتيلة مصباح كهربائي مع الطول الموجي للإشعاع المنبعث، فإذا علمت أن درجة حرارة جسم الإنسان 310 K، احسب درجة حرارة فتيلة المصباح الكهربائي.

## الحل

$$(\lambda_{\max})_1 = 9.348 \mu\text{m} \quad (\lambda_{\max})_2 = 0.966 \mu\text{m} \quad T_1 = 310 \text{ K} \quad T_2 = ?$$

$$\frac{(\lambda_{\max})_1}{(\lambda_{\max})_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad , \quad \frac{9.348}{0.966} = \frac{T_2}{310}$$

$$T_2 = 2999.88 \text{ K}$$

## تفسير بلانك (عام ١٩٠٠م) لإشعاع الجسم الأسود

\* استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض عدة فروض هي :  
١ يتكون الإشعاع من بلايين من وحدات أو دفقات صغيرة من الطاقة تسمى كل منها كوانتم (كم) أو فوتون لا نلاحظها منفصلة ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل، وهذه الخواص هي الخواص الكلاسيكية للموجات.



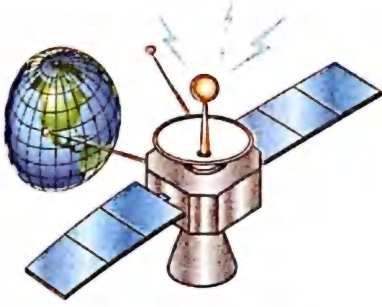
٢ طاقة كل فوتون  $E = h\nu$ ، حيث :  $h$  ثابت بلانك ويساوي  $6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ،  $\nu$  التردد.

٣ تصدر الفوتونات نتيجة تذبذب ذرات الجسم المشع.

٤ طاقة الذرات المتذبذبة منفصلة ومكّمة وتأخذ مستويات الطاقة قيم  $E = nh\nu$

- ٥ لا يصدر إشعاع من الذرات طالما كانت مستقرة فى مستوى طاقتها الأصلية (المستوى الأرضى).
- ٦ عند انتقال الذرة المتذبذبة من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أدنى للطاقة يصدر فوتون طاقته  $E = h\nu$
- ٧ بزيادة تردد الفوتونات تزداد طاقتها ويقل عددها
- أى أنه : عند الأطوال الموجية القصيرة جداً (الترددات العالية جداً) تقل شدة الإشعاع وتقترب من الصفر.

### تطبيقات على الإشعاع الصادر من الأجسام المختلفة



تصوير سطح الأرض



صورة حرارية

- ١ تحديد مصادر الثروة الطبيعية حيث يمكن تصوير سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة (الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض - الضوء المرئى - الموجات الميكرومترية «موجات الميكروويف» المستخدمة فى الرادار) عن طريق أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة جواً وأجهزة أرضية.
- ٢ التطبيقات العسكرية مثل أجهزة الرؤية الليلية لرؤية الأجسام المتحركة فى الظلام واضحة بفعل ما تشعه من إشعاع حرارى.
- ٣ فى الطب خاصة فى مجال الأورام والأجنة.
- ٤ اكتشاف الأدلة الجنائية حيث يبقى الإشعاع الحرارى للجسم فترة حتى بعد تركه المكان وتسمى هذه التقنية الاستشعار عن بُعد.

### ثانياً الانبعاث الحرارى والتأثير الكهروضوئى Thermal Emission and Photoelectric Effect

\* يحتوى أى معدن على أيونات موجبة وإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك داخله ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوى التجاذب التى تجذبها دائماً للداخل، وتسمى هذه القوى حاجز جهد السطح.

\* إذا اكتسبت هذه الإلكترونات طاقة حرارية أو ضوئية يمكن أن تتحرر من المعدن بشرط أن تكون هذه الطاقة كافية للتغلب على حاجز جهد السطح وهذه هى فكرة عمل :

٢ الخلية الكهروضوئية.

١ أنبوبة شعاع الكاثود.

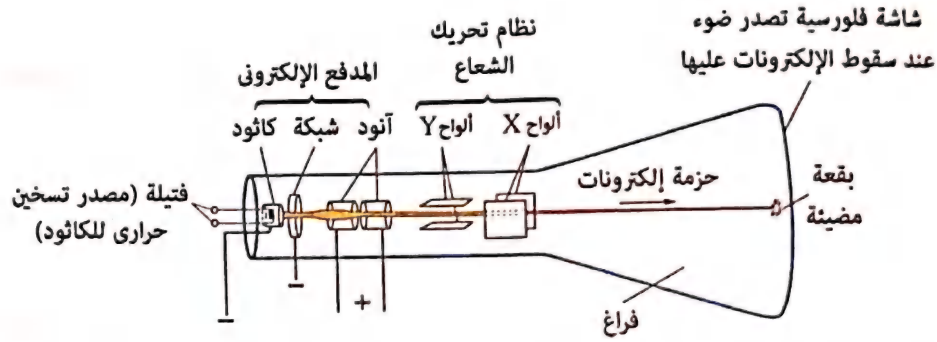


## ١ انبوبة شعاع الكاثود Cathode Ray Tube

الاستخدام : شاشة التليفزيون والكمبيوتر.

الأساس العلمي : انطلاق إلكترونات من سطح معدن عند تسخينه (الانبعاث الحرارى أو الظاهرة الكهروحرارية).

التركيب وطريقة العمل :



١ سطح معدنى يسمى المهبط أو الكاثود يتم تسخينه بواسطة فتيلة تسخين فتنتطلق بعض الإلكترونات من الكاثود بفعل الحرارة متغلبة على حاجز جهد سطح معدن الكاثود.

٢ شبكة يتم بواسطتها التحكم فى شدة الشعاع الإلكتروني حسب شدة الإشارة الكهربائية المرسلة.

٣ مصعد مجوف (آنود) مواجه للمهبط ويوجد بين المهبط والمصعد فرق جهد مستمر يعمل على تعجيل الإلكترونات.

٤ شاشة فلورسكية متصلة بقطب موجب (المصعد أو الأنود) تلتقط الإلكترونات المنبعثة من الكاثود مما يسبب تياراً فى الدائرة الخارجية.

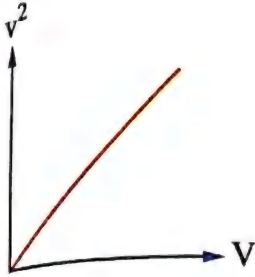
٥ مجالات كهربية أو مغناطيسية (الألواح X ، Y) تعمل على توجيه مسار حزمة الإلكترونات،

لمسح الشاشة نقطة بنقطة حتى تكتمل الصورة.

٦ تصطدم هذه الإلكترونات بالشاشة محدثة ضوءاً تختلف شدته من نقطة لأخرى حسب شدة الإشارة الكهربائية المرسلة (شدة الشعاع الإلكتروني) التى يمكن التحكم فيها بواسطة الشبكة التى تعترض طريق هذه الإلكترونات.

٧ أقصى طاقة حركة للإلكترون  $(KE)_{\max}$  تتعين من العلاقة :  $(KE)_{\max} = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV$

حيث :  $(m_e)$  كتلة الإلكترون ،  $(v)$  أقصى سرعة للإلكترون ،  $(e)$  شحنة الإلكترون ،  $(V)$  فرق الجهد بين الكاثود والأنود.



\* تبعاً للعلاقة ( $\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$ ) تكون العلاقة البيانية بين مربع أقصى سرعة للإلكترونات المنبعثة من المهبط ( $v^2$ ) وفرق الجهد بين المصعد والمهبط ( $V$ ) كما بالشكل :

$$\text{slope} = \frac{\Delta v^2}{\Delta V} = \frac{2e}{m_e}$$

### ملحوظة

\* الطاقة بوحدة الجول = الطاقة بوحدة الإلكترون فولت  $\times$  شحنة الإلكترون  
أي أنه :  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

### مثال

أنبوبة شعاع الكاثود تعمل على فرق جهد  $10 \text{ kV}$ ، أوجد أقصى سرعة للإلكترونات المنبعثة من الكاثود (علمًا بأن :  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ,  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ).

### الحل

$$V = 10^4 \text{ V} \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad v = ?$$

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = eV$$

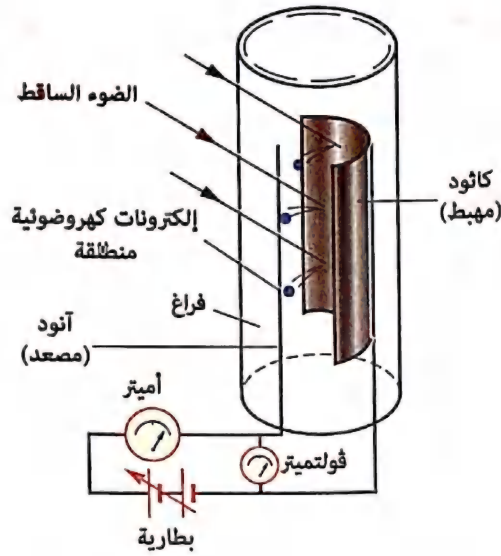
$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^4}{9.1 \times 10^{-31}}} = 5.93 \times 10^7 \text{ m/s}$$

### ٢ الخلية الكهروضوئية

الاستخدام : تستخدم في فتح وغلق الأبواب آلياً.

الأساس العلمي (فكرة العمل) : انطلاق إلكترونات من سطح معدن عند سقوط ضوء عليه (التأثير الكهروضوئي).

التركيب وطريقة العمل : تتكون الخلية الكهروضوئية من أنبوبة من مادة شفافة للضوء مفرغة من الهواء تحتوى على :



- ١ كاثود وهو عبارة عن سطح معدني مقعر تنبعث منه إلكترونات عندما يسقط عليه ضوء.
- ٢ أنود وهو عبارة عن سلك رفيع حتى لا يحجب الضوء الساقط على الكاثود ويلتقط الإلكترونات المنبعثة من الكاثود مما يسبب تياراً في الدائرة الخارجية.

### التصور الكلاسيكي :

- تنطلق الإلكترونات والتي تسمى الإلكترونات الكهروضوئية وتردد طاقة حركتها عند جميع الترددات بزيادة شدة الضوء الساقطة.

- إذا لم تكن شدة الضوء الساقط كافية فإنه يمكن بزيادة زمن سقوط ذلك الضوء أن تتراكم الطاقة وتتحرك الإلكترونات بعد فترة كافية من السقوط.

### الملاحظات العملية :

#### الإلكترونات الكهروضوئية

الإلكترونات المنبعثة من أسطح المعادن عندما يسقط عليها ضوء ذو تردد أكبر من أو يساوي التردد الحرج.

#### التردد الحرج لسطح (V<sub>c</sub>)

أقل تردد للضوء الساقط يكفي لتحرير إلكترون من سطح معدن دون إكسابه طاقة حركة.

- ١ يتوقف انطلاق الإلكترونات الكهروضوئية على تردد الموجة الساقطة وليس على شدتها، إذ لا تنطلق هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من أو يساوي قيمة معينة تسمى التردد الحرج (V<sub>c</sub>) مهما كانت الشدة.
- ٢ إذا كان تردد الموجة الساقطة يساوي أو أكبر من التردد الحرج (V<sub>c</sub>) فإن شدة التيار الكهروضوئي تزداد بزيادة شدة الضوء الساقط،

لزيادة عدد الفوتونات الساقطة على وحدة المساحات من السطح في وحدة الزمن وبالتالي يزداد عدد الإلكترونات التي تتحرر من السطح فتزداد شدة التيار الكهروضوئي.

- ٣ تتوقف السرعة وطاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنطلقة على نوع مادة السطح وتردد الضوء الساقط وليس شدته، وبالتالي عند زيادة تردد الضوء الساقط مع ثبات شدته تزداد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة أما عدد الإلكترونات يظل ثابت لأن عدد فوتونات الضوء الساقط ثابت فتظل شدة التيار الكهروضوئي ثابتة.

- ٤ انطلاق الإلكترونات يحدث لحظياً ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات حتى إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة بشرط أن يكون تردد الضوء الساقط أكبر من التردد الحرج.

لم تتمكن النظرية الكلاسيكية من تفسير هذه المشاهدات العملية حيث إنه :

### في التجربة العملية

### في التصور الكلاسيكي

#### يعتمد انبعاث الإلكترونات على

تردد الضوء الساقط

شدة الضوء الساقط

#### تعتمد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة على

تردد الضوء الساقط

شدة الضوء الساقط

#### إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة فإن انبعاث الإلكترونات

يحدث لحظياً عندما يكون تردد الضوء الساقط يساوى أو أكبر من التردد الحرج

يحتاج لفترة تعرض أطول للضوء

### تفسير أينشتين للظاهرة الكهروضوئية

\* تمكن أينشتين من تفسير المشاهدات العملية

للظاهرة الكهروضوئية وفاز عام ١٩٢١م

بجائزة نوبل في الفيزياء عن هذا التفسير

وقد اعتمد في تفسيره على أن :

- الإشعاع يتكون من وحدات صغيرة من

الطاقة تسمى كل منها كوانتم أو فوتون

(فرض بلانك).

- تحرر إلكترون من سطح معدن يلزمه طاقة

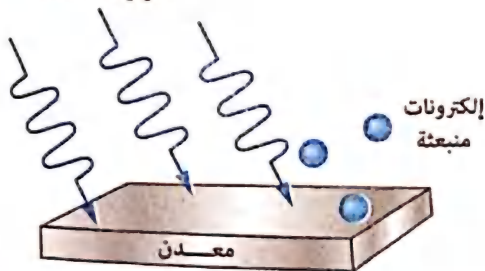
محددة تسمى دالة الشغل للسطح ( $E_w$ )

وتتعين من العلاقة :

$$E_w = h\nu_c = \frac{hc}{\lambda_c}$$

حيث : ( $\lambda_c$ ) الطول الموجى الحرج.

فوتونات ساقطة



### دالة الشغل لسطح ( $E_w$ )

الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون من سطح معدن دون إكسابه طاقة حركية.

### الطول الموجى الحرج ( $\lambda_c$ )

أكبر طول موجى للضوء الساقط على سطح معدن يكفى لتحرير إلكترونات منه دون إكسابها طاقة حركية.



- إذا كانت طاقة الفوتون الساقط :

أقل من دالة شغل السطح ( $E < E_w$ )	تساوى دالة شغل السطح ( $E = E_w$ )	أكبر من دالة شغل السطح ( $E > E_w$ )
أقل من التردد الحرج ( $\nu < \nu_c$ )	يساوى التردد الحرج ( $\nu = \nu_c$ )	أكبر من التردد الحرج ( $\nu > \nu_c$ )
وبالتالى		
لا يستطيع الفوتون تحرير أى إلكترون من إلكترونات السطح مهما زادت شدة الضوء الساقط أو فترة تسليطه على السطح	يستطيع الفوتون بالكاد تحرير إلكترون من سطح المعدن دون إكسابه طاقة حركة	يستطيع الفوتون تحرير إلكترون من سطح المعدن ويظهر فرق الطاقة على شكل طاقة حركة يكتسبها الإلكترون

\* مما سبق يمكن تعريف الظاهرة الكهروضوئية كالتالى :

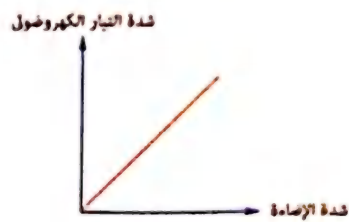
#### الظاهرة الكهروضوئية

ظاهرة انبعاث إلكترونات من سطح معدن عندما يسقط عليه ضوء ذو تردد يساوى أو أكبر من التردد الحرج.

#### العلاقة بين شدة التيار الكهروضوئى وشدة الإضاءة

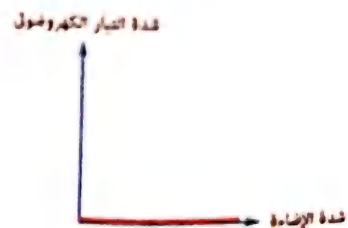
\* إذا كان تردد الفوتون (الضوء) الساقط أكبر من التردد الحرج للسطح تزداد شدة التيار الكهروضوئى بزيادة شدة الإضاءة (زيادة عدد الفوتونات).

$$\nu > \nu_c$$



\* إذا كان تردد الفوتون (الضوء) الساقط أقل من التردد الحرج للسطح لا يمر تيار كهروضوئى مهما زادت شدة الإضاءة أو زمن سقوط الضوء.

$$\nu < \nu_c$$



### العلاقة بين طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة من سطح الفلز وتردد الضوء الساقط

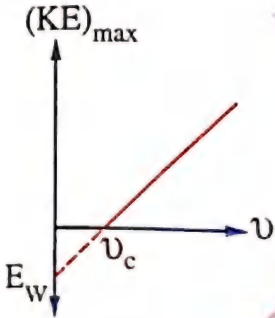
∴ طاقة الفوتون الساقط = دالة الشغل للسطح + طاقة الحركة العظمى للإلكترونات المنبعثة.

$$\therefore E = E_w + (KE)_{\max}$$

$$\therefore h\nu = h\nu_c + \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_c} + \frac{1}{2} m_e v^2$$

(معادلة أينشتاين للظاهرة الكهروضوئية)



\* التمثيل البياني للعلاقة بين طاقة الحركة العظمى  $(KE)_{\max}$

للإلكترونات وتردد الضوء الساقط  $(\nu)$  :

$$\text{slope} = \frac{\Delta(KE)_{\max}}{\Delta\nu} = h$$

### ملاحظات

\* تتوقف دالة الشغل لسطح معدن على نوع مادة السطح فقط ولا تتوقف على شدة الضوء الساقط أو زمن التعرض له أو فرق الجهد بين المصعد والمهبط.

\* الإلكترون الأكثر ارتباطاً يحتاج إلى طاقة أكبر بكثير من دالة الشغل لتحرره بعكس إلكترون السطح الذي يحتاج طاقة تساوي دالة الشغل ليتحرر.

### مثال ١

احسب دالة الشغل لفلز الطول الموجي الحرج له  $2700 \text{ \AA}$   
(علمًا بأن :  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

### الحل

$$\lambda_c = 2700 \text{ \AA}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

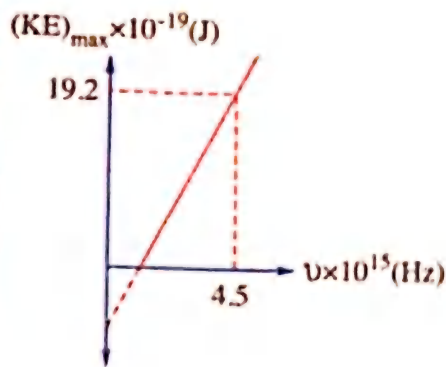
$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$E_w = ?$$

$$E_w = \frac{hc}{\lambda_c} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2700 \times 10^{-10}} = 7.36 \times 10^{-19} \text{ J}$$



### مثال ٢



الشكل البياني المقابل يوضح العلاقة بين طاقة الحركة العظمى  $(KE)_{\max}$  للإلكترونات المنبعثة من سطح معدن عند سقوط ضوء عليه وتردد هذا الضوء  $(\nu)$ ، احسب:

(أ) دالة الشغل لسطح المعدن.

(ب) التردد الحرج لسطح المعدن.

(علمًا بأن:  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ )

### الحل

$$\nu_1 = 4.5 \times 10^{15} \text{ Hz} \quad (KE_{\max})_1 = 19.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s} \quad E_w = ? \quad \nu_c = ?$$

$$E_w = h\nu_1 - (KE_{\max})_1 \quad (1)$$

$$= (6.625 \times 10^{-34} \times 4.5 \times 10^{15}) - (19.2 \times 10^{-19})$$

$$= 1.06 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$E_w = h\nu_c \quad (ب)$$

$$\nu_c = \frac{E_w}{h} = \frac{1.06 \times 10^{-18}}{6.625 \times 10^{-34}} = 1.6 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

### مثال ٣

سقط ضوء طوله الموجي  $1000 \text{ \AA}$  على سطح فلز فكانت أقصى طاقة حركة للإلكترونات المنبعثة  $11.28 \text{ eV}$ ، ثم سقط على سطح الفلز ضوء آخر طوله الموجي  $3000 \text{ \AA}$  فكانت أقصى طاقة حركة للإلكترونات المنبعثة  $3 \text{ eV}$ ، احسب:

(أ) قيمة ثابت بلانك  $(h)$ .

(ب) دالة الشغل لسطح الفلز.

(علمًا بأن:  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ،  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

## الحل

$$\lambda_1 = 1000 \text{ \AA}$$

$$(KE_{\max})_1 = 11.28 \text{ eV}$$

$$\lambda_2 = 3000 \text{ \AA}$$

$$(KE_{\max})_2 = 3 \text{ eV}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$h = ?$$

$$E_w = ?$$

$$E_w = \frac{hc}{\lambda} - (KE)_{\max} \quad (1)$$

$$\therefore \frac{hc}{\lambda_1} - (KE_{\max})_1 = \frac{hc}{\lambda_2} - (KE_{\max})_2$$

$$hc \left( \frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) = (KE_{\max})_1 - (KE_{\max})_2$$

$$h \times 3 \times 10^8 \times \left( \frac{1}{1000 \times 10^{-10}} - \frac{1}{3000 \times 10^{-10}} \right) = (11.28 - 3) \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$2 \times 10^{15} h = 1.325 \times 10^{-18}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$E_w = \frac{hc}{\lambda_1} - (KE_{\max})_1 \quad (2)$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1000 \times 10^{-10}} - (11.28 \times 1.6 \times 10^{-19})$$

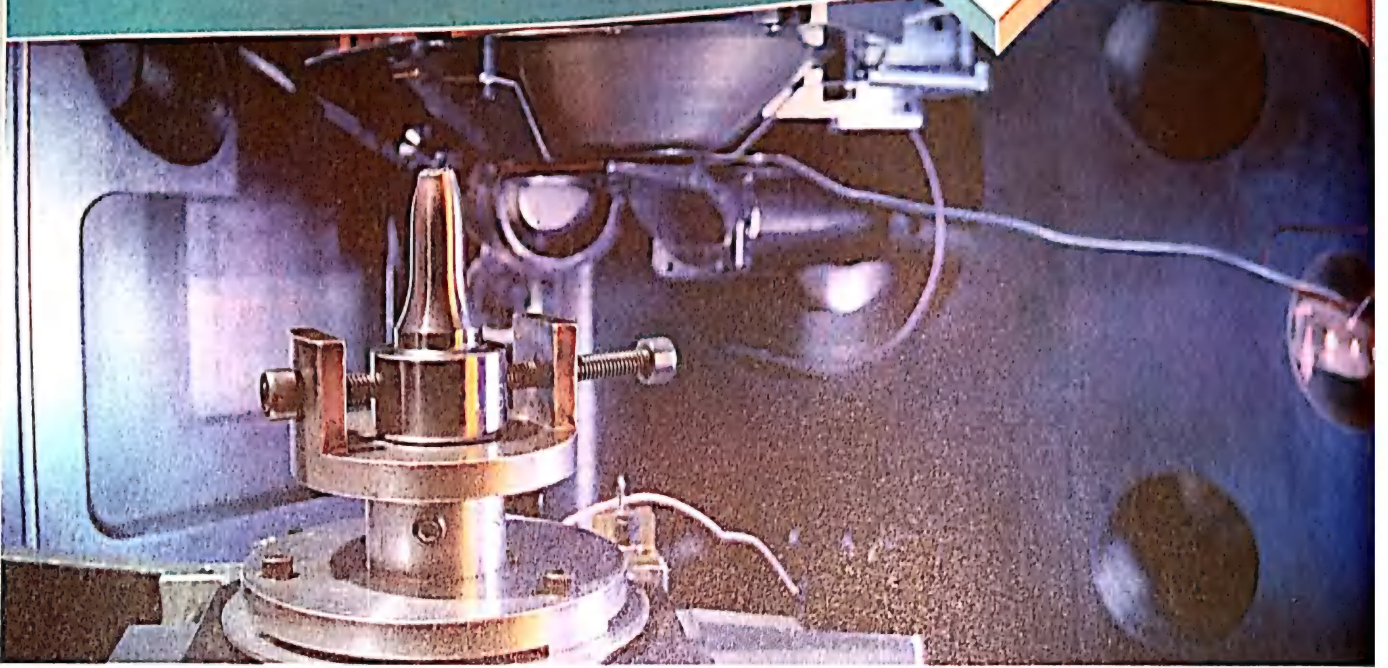
$$= 1.83 \times 10^{-19} \text{ J}$$



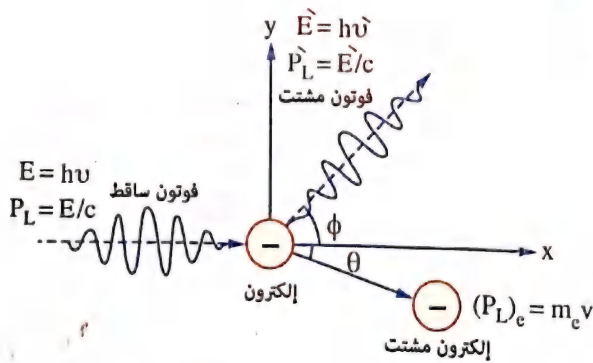
• ظاهرة كومبتون  
• الطبيعة الموجية للجسيم  
• المجهر الإلكتروني

الدرس  
الثاني

الفصل  
5



ثالثاً ظاهرة كومبتون Compton Effect



- \* عند سقوط فوتون له طاقة عالية (مثل فوتون أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر :  
- يقل تردد الفوتون ويغير اتجاهه.  
- تزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه.  
وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة كومبتون.

\* لم تتمكن النظرية الكلاسيكية من تفسير

- ظاهرة كومبتون ولكن تم تفسيرها من خلال فرض بلانك بأن الإشعاع الكهرومغناطيسي مكون من فوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات وأثبت كومبتون أن التصادم تصادم مرن حيث يكون :  
- مجموع كميتي تحرك الفوتون والإلكترون قبل التصادم مباشرة = مجموع كميتي تحرك الفوتون والإلكترون بعد التصادم مباشرة (قانون بقاء كمية التحرك).  
- مجموع طاقتي الفوتون والإلكترون قبل التصادم مباشرة = مجموع طاقتي الفوتون والإلكترون بعد التصادم مباشرة (قانون بقاء الطاقة).

أي أن : الإلكترون يكتسب جزء من طاقة الفوتون الساقط فتزداد سرعة الإلكترون ويتشتت ويقل تردد الفوتون نتيجة نقص طاقته.

\* مما سبق نجد أن ظاهرة كومتون تثبت الخاصية الجسيمية للضوء،  
لأنها توضح أن الفوتون يتصادم مع الإلكترون كجسيم له كتلة وسرعة (كمية حركة)  
مثل الإلكترون.

### ملحوظة

\* يرتبط تحول الكتلة (m) إلى طاقة (E) بعلاقة أينشتاين ( $E = mc^2$ ) والتي تعتبر أساس  
عمل القنبلة الذرية، حيث وجد أن انشطار النواة ينتج كمية هائلة من الطاقة،



القنبلة الذرية

لأن انشطار النواة يصحبه نقص في الكتلة  
يتحول إلى طاقة تبعاً لعلاقة أينشتاين، وقد  
وجد أن النقص في الكتلة صغير جداً ولكنه  
يتحول إلى طاقة هائلة لأنه مضروب في  
مقدار كبير جداً هو مربع سرعة الضوء  
( $c^2 = 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$ ).

### خواص الفوتون

١ كمّ من الطاقة مركز في حيز صغير جداً وتحسب طاقته من العلاقة :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

٢ يتحرك بسرعة الضوء.

٣ له كتلة أثناء حركته تكافئ m :

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

٤ الفوتون ليس له كتلة سكون بل تتحول كتلته بالكامل إلى طاقة ( $E = mc^2$ ) يكتسبها  
الجسم الذي أوقف حركته.

٥ له كمية حركة :

$$P_L = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

٦ له خاصية جسيمية وخاصية موجية ويتحقق فيه قانونا بقاء الكتلة والطاقة.



## مثال

احسب الكتلة المكافئة للفوتون وكمية حركته إذا كان طول الموجي 380 nm  
(علمًا بأن :  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

## الحل

$$\lambda = 380 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$m = ?$$

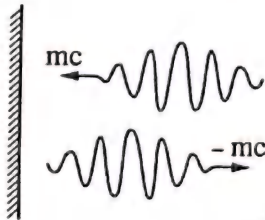
$$P_L = ?$$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{380 \times 10^{-9}} = 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 7.89 \times 10^{14}}{(3 \times 10^8)^2} = 5.81 \times 10^{-36} \text{ kg}$$

$$P_L = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{380 \times 10^{-9}} = 1.74 \times 10^{-27} \text{ kg.m/s}$$

## استنتاج القوة التي تؤثر بها حزمة من الفوتونات على سطح عاكس



\* عند سقوط شعاع ضوئي تردده  $\nu$  على سطح ما ثم انعكاسه فإن :

- كمية حركة الفوتون الساقط  $mc$

- كمية حركة الفوتون المنعكس  $-mc$

- مقدار التغير في كمية حركة الفوتون نتيجة انعكاسه :  $\Delta P_L = 2 mc = \frac{2 h\nu}{c}$

\* بفرض أن  $(\phi_L)$  معدل سقوط الفوتونات على السطح ويتعين من العلاقة  $(\phi_L = \frac{N}{t})$  وتقاس

بوحدة photon/s، فإن كل فوتون يسقط على السطح وينعكس عنه يعاني تغير في كمية الحركة

فيكون معدل التغير في كمية حركة شعاع الفوتونات :  $\frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2 mc\phi_L = 2 \frac{h\nu}{c} \phi_L$

وتبعًا لقانون نيوتن الثاني تكون القوة المؤثرة من شعاع الفوتونات على السطح (F) :

$$F = \frac{\Delta P_L}{\Delta t} = 2 \frac{h\nu}{c} \phi_L$$

$$P_w = h\nu\phi_L$$

تتعين القدرة الضوئية ( $P_w$ ) الساقطة على السطح من العلاقة :

$$\therefore F = 2 \frac{P_w}{c}$$

مثال

شعاع قدرته 1 W يسقط على سطح حائط بمعدل  $10^{14}$  photon/s. **احسب** القوة التي يؤثر بها الشعاع على سطح الحائط، ثم **احسب** تردده. (علمًا بأن :  $c = 3 \times 10^8$  m/s ،  $h = 6.625 \times 10^{-34}$  J.s)

الحل

$$P_w = 1 \text{ W}$$

$$\phi_L = 10^{14} \text{ photon/s}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$F = ?$$

$$\nu = ?$$

$$F = \frac{2 P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = 0.67 \times 10^{-8} \text{ N}$$

\* هذه القوة صغيرة جدًا فلا يظهر تأثيرها على سطح الحائط.

$$\nu = \frac{P_w}{h \phi_L} = \frac{1}{6.625 \times 10^{-34} \times 10^{14}} = 1.51 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

العلاقة بين الطول الموجي للفوتون وكمية الحركة الخطية له

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

بضرب البسط والمقام في ثابت بلانك (h) :

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{h\nu} = \frac{h}{h\nu/c}$$

$$\therefore P_L = \frac{h\nu}{c}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{P_L}$$

أي أن : الطول الموجي للفوتون يساوي النسبة بين ثابت بلانك وكمية حركة الفوتون.

الطبيعة المزدوجة للفوتونات

\* ظاهرة إشعاع الجسم الأسود والظاهرة الكهروضوئية وظاهرة كومبتون من الدلائل على أن الضوء يسلك سلوك الجسيمات، كما أن هناك ظواهر أخرى مثل التداخل والحيود تبين أن الضوء يسلك سلوك الموجات،

فأي منهما الصحيح : السلوك الجسيمي أم السلوك الموجي ؟

\* يعتمد سلوك الضوء على الظاهرة قيد الدراسة حيث إن بعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الموجات أي أن الضوء يُظهر صفة موجية، وبعض التجارب يمكن تفسيرها عند سلوك الضوء سلوك الجسيمات أي أن الضوء يُظهر صفة جسيمية،

وعلى هذا الأساس فإن النظرة الحديثة لطبيعة الضوء تأخذ السلوك الثنائي أو المزدوج للضوء أي أنه : طاقة الإشعاع تنتقل على هيئة فوتونات يصحب حركتها موجة.

### النموذج الماكروسكوبي والنموذج الميكروسكوبي للضوء

\* إذا سقطت فوتونات على سطح ما وكان الطول الموجي للفوتونات  $(\lambda)$  :



أي أنه : النموذجين الماكروسكوبي والميكروسكوبي مرتبطان ببعضهما البعض، وبالتالي فإن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان، المهم أن نفهم كيف نطبق كل منهما في مكانه.

\* من هنا يمكن التفريق بين النموذج الماكروسكوبي والنموذج الميكروسكوبي للضوء كالتالى :

النموذج الموجي للضوء (الماكروسكوبي)	النموذج الجسيمى للضوء (الميكروسكوبي)
- يُطبق إذا اعترض فوتونات الضوء عائق أبعداه أكبر بكثير من الطول الموجي للضوء.	- يُطبق إذا اعترض فوتونات الضوء عائق فى حجم الذرة أو الإلكترون.
- يدرس الفوتونات كحزمة بما لها من مجال مغناطيسى وكهربى متعامدان على بعضهما وعلى اتجاه سريان حزمة الفوتونات.	- يدرس الفوتون منفرداً ويتصوره كرة نصف قطرها يساوى الطول الموجي للموجة $(\lambda)$ وتتذبذب بمعدل $(\nu)$ .

### الطبيعة الموجية للجسيم

\* نظراً للتماثل الموجود فى الكون افترض دى برولى معادلة دى برولى للجسيمات

الطول الموجي لموجة مصاحبة لجسيم متحرك يساوى النسبة بين ثابت بلانك وكمية حركة الجسيم.

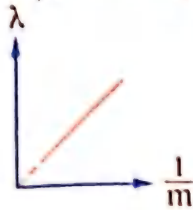
أنه مثلما للموجات طبيعة جسيمية، فإن للجسيم طبيعة موجية، حيث يصاحب الجسيم أثناء حركته موجة طولها الموجي يحسب من العلاقة :

$$\lambda = \frac{h}{p_L} = \frac{h}{mv}$$

## العوامل التي يتوقف عليها الطول الموجي للموجة المصاحبة لجسيم متحرك

كتلة الجسيم :

يتناسب الطول الموجي للموجة المصاحبة لجسيم متحرك تناسباً عكسياً مع كتلة الجسيم.

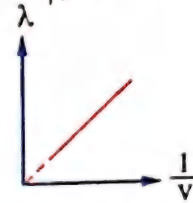


$$\text{slope} = \frac{\Delta \lambda}{\Delta \left(\frac{1}{m}\right)} = \frac{h}{v}$$

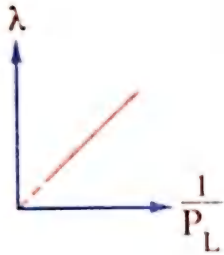
$$\lambda = \frac{h}{p_L} = \frac{h}{mv}$$

سرعة الجسيم :

يتناسب الطول الموجي للموجة المصاحبة لجسيم متحرك تناسباً عكسياً مع سرعة الجسيم.



$$\text{slope} = \frac{\Delta \lambda}{\Delta \left(\frac{1}{v}\right)} = \frac{h}{m}$$



\* العلاقة البيانية بين الطول الموجي للموجة المصاحبة

لجسيم متحرك ومقلوب كمية تحرك الجسيم :

$$\text{slope} = \frac{\Delta \lambda}{\Delta \left(\frac{1}{p_L}\right)} = h$$

\* وبالتالي فإننا ننظر إلى الطبيعة الموجية لكل من الضوء والإلكترونات كما يلي :

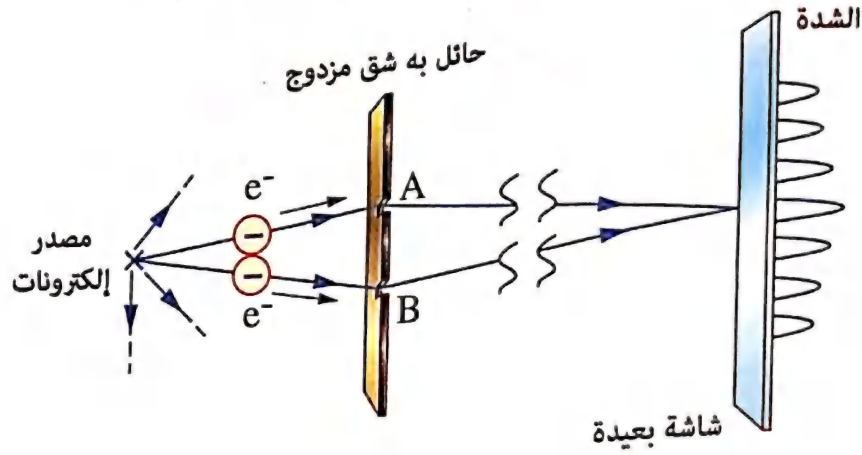
### الطبيعة الموجية للإلكترونات

- شعاع الإلكترونات هو مجموعة هائلة من الإلكترونات لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي.
- الإلكترون بمفرده يحمل الصفات الوراثية للكل (نفس خصائص مجموعة الإلكترونات) من حيث الكتلة والشحنة والدوران حول نفسه (اللف المغزلي) وكمية الحركة.
- يكون للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون تردد وسرعة وطول موجي وخصائص الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والحيود.

### الطبيعة الموجية للضوء

- الضوء هو مجموعة هائلة من الفوتونات لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي من انتشار وانعكاس وانكسار وتداخل وحيود.
- الفوتون بمفرده يحمل الصفات الوراثية للموجة (نفس خصائص مجموعة الفوتونات) من حيث التردد والسرعة والطول الموجي.

\* الشكل التالي يوضح الطبيعة الموجية للإلكترون (خاصية الحيود) :



حيود الإلكترونات في شق مزدوج

\* مما سبق يمكن المقارنة بين الإلكترون والفوتون كالتالي :

الإلكترون	الفوتون	
جسيم مادي شحنته سالبة وله طبيعة موجية	كمّ من الطاقة ( $h\nu$ ) غير مشحون وله طبيعة موجية وجسيمية	الطبيعة
يمكن تعجيله بالمجال الكهربى	لا يمكن تعجيله وسرعته ثابتة فى الفراغ ( $3 \times 10^8$ m/s)	التعجيل (زيادة سرعته)
له كمية تحرك $P_L = \frac{h}{\lambda} = mv$	له كمية تحرك $P_L = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$	كمية التحرك
* له كتلة سكون ثابتة ( $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg)	* له كتلة أثناء حركته فقط تكافئ $m$ ( $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$ ) * إذا توقف عن الحركة تتلاشى كتلته وتتحول إلى طاقة ( $E = mc^2$ ).	الكتلة

احسب الطول الموجي للموجة المصاحبة لحركة كرة كتلتها 140 kg تتحرك بسرعة 40 m/s،  
ثم احسب الطول الموجي للموجة المصاحبة لحركة إلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة.  
(علمًا بأن :  $h = 6.625 \times 10^{-34}$  J.s ،  $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$  kg)

الحل

$$m_b = 140 \text{ kg}$$

$$v = 40 \text{ m/s}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\lambda_b = ?$$

$$\lambda_e = ?$$

$$\lambda_b = \frac{h}{m_b v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{140 \times 40} = 1.18 \times 10^{-37} \text{ m}$$

$$\lambda_e = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 40} = 1.82 \times 10^{-5} \text{ m}$$

\* مما سبق يتضح أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما يستخدم شعاع الضوء، وهذا هو أساس عمل الميكروسكوب الإلكتروني.

### المجهر (الميكروسكوب) الإلكتروني



صورة للفيروسات باستخدام  
الميكروسكوب الإلكتروني

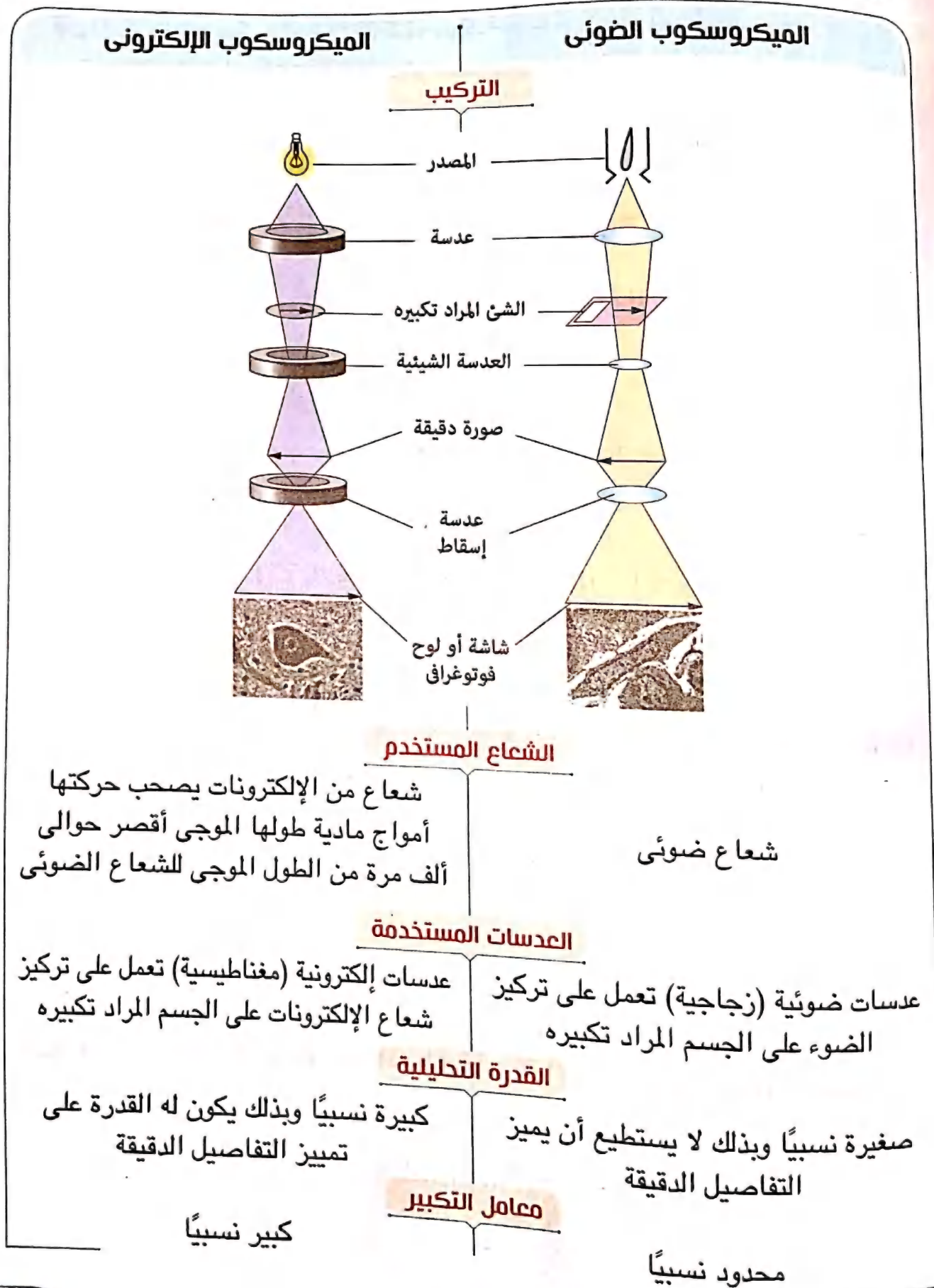
\* لتكوين صورة مكبرة للأجسام الصغيرة يلزم سقوط موجة على الجسم بحيث يكون طولها الموجي أقل من أبعاد الجسم المراد تكوين صورة مكبرة له لذلك لا يصلح الميكروسكوب الضوئي لرؤية الأجسام الصغيرة جدًا مثل الفيروسات حيث إن الطول الموجي للضوء المرئي أكبر من أبعاد الفيروس لذلك يتم استخدام شعاع من الإلكترونات في الميكروسكوب الإلكتروني.

\* فكرة عمل الميكروسكوب الإلكتروني :

- الفكرة : الطبيعة الموجية للإلكترون.

- الشرح : بزيادة فرق الجهد بين الكاثود والأنود في المجهر الإلكتروني تزداد طاقة حركة الإلكترون وبالتالي تزداد سرعته ( $v$ ) تبعًا للعلاقة ( $KE = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV$ )، ومن معادلة دي برولي ( $\lambda = \frac{h}{m_e v}$ ) نجد أنه بزيادة سرعة الإلكترون يقل الطول الموجي المصاحب لحركته حتى يصبح أقل من أبعاد الجسم وبذلك يمكن تكوين صورة مكبرة له.

\* يتشابه الميكروسكوب الإلكتروني مع الميكروسكوب الضوئي في نواح عديدة ويختلف عنه في نواح أخرى، كالتالي :



## ملحوظة

\* القدرة التحليلية للميكروسكوب الإلكتروني كبيرة جداً،

**لأن** الإلكترونات يمكن أن تمتلك طاقة حركة عالية جداً ومن ثم أطوال موجية قصيرة جداً وبالتالي تستطيع أن ترصد أجسام صغيرة لا يستطيع الضوء العادي أن يرصدها.

## مثال

إذا استخدم فرق جهد 400 V بين الأنود والكاثود لميكروسكوب إلكتروني،

(1) احسب ،

١- أقصى طاقة حركة للإلكترون. ٢- أقصى سرعة للإلكترون.

٣- الطول الموجي للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون.

(ب) هل يمكن رؤية جسيم طوله  $5 \text{ \AA}$  ؟ ولماذا ؟

(علمًا بأن :  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ,  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ,  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

الحل

$$V = 400 \text{ V} \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \quad h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad (KE)_{\max} = ? \quad v = ? \quad \lambda = ?$$

$$(KE)_{\max} = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 400 = 6.4 \times 10^{-17} \text{ J} \quad (1) \quad -1$$

$$(KE)_{\max} = \frac{1}{2} m_e v^2 \quad -2$$

$$6.4 \times 10^{-17} = \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$$

$$v = 1.19 \times 10^7 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 1.19 \times 10^7} = 6.12 \times 10^{-11} \text{ m} \quad -3$$

(ب) نعم، لأن الطول الموجي للموجة المصاحبة لحركة الإلكترون أقل من طول الجسيم.





## الوحدة الثانية

مقدمة في  
الفيزياء الحديثة

## الأطياف الذرية

## الفصل 6



\* كلمة ذرة (Atom) تعود إلى اللغة الإغريقية، وتعنى الوحدة التى لا تنقسم، وقد وضع العلماء تصورات مختلفة لتركيب الذرة، سدرس منها تصور العالم بور لتركيب الذرة.

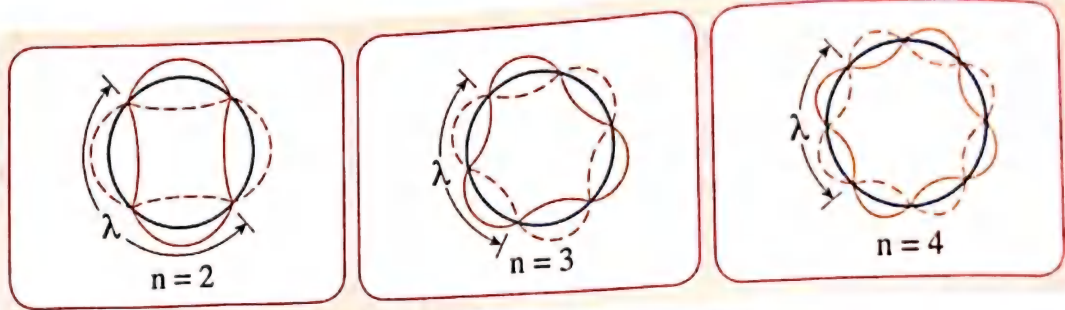
### نموذج ذرة بور Bohr's Model

\* قام بور بدراسة تصورات العلماء السابقين له للذرة، وتوصل إلى نموذج لذرة الهيدروجين مستخدماً بعض تصورات العالم رذرفورد، وهى :

- ١ توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.
  - ٢ تتحرك الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة فى مستويات طاقة محددة تعرف بالأغلفة ولا يصدر الإلكترون إشعاعاً طالما كان متحركاً فى مستوى الطاقة الخاص به.
  - ٣ الذرة متعادلة كهربياً حيث إن عدد الشحنات السالبة (الإلكترونات) حول النواة يساوى عدد الشحنات الموجبة التى تحملها النواة.
- ثم أضاف بور الفروض الثلاثة الهامة التالية :
- ١ القوى الكهربائية (قانون كولوم) والقوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق فى مجال الذرة.



٢ باعتبار أن الموجة المصاحبة لحركة الإلكترون في ذرة الهيدروجين تمثل موجة موقوفة (حسب فرض دي برولي) بحيث يكون عدد الموجات الموقوفة (الأطوال الموجية) مساوياً لرقم المدار كما بالشكل التالي :

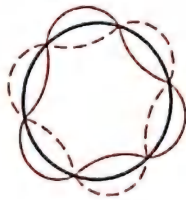


وبالتالي يمكن حساب نصف قطر مدار الإلكترون تقديراً من العلاقة :  $2\pi r = n\lambda$  حيث : (r) نصف قطر المدار،

(n) عدد الأمواج الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون (عدد صحيح أكبر من الصفر)،  
(λ) الطول الموجي للموجة الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون.

٣ عندما ينتقل إلكترون من مستوى طاقة أعلى ( $E_2$ ) إلى مستوى أدنى للطاقة ( $E_1$ )، ينطلق نتيجة لذلك فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقتي المستويين ( $h\nu = \Delta E = E_2 - E_1$ ).

**مثال**



الشكل المقابل يوضح الموجة الموقوفة المصاحبة لحركة إلكترون ذرة الهيدروجين في أحد مستويات الطاقة، فإذا علمت أن سرعة الإلكترون في هذا المستوى  $7.3 \times 10^5$  m/s، احسب :

- الطول الموجي للموجة الموقوفة المصاحبة لحركة الإلكترون في هذا المستوى.
  - نصف قطر مستوى الطاقة الذي يتحرك فيه الإلكترون.
- (علمًا بأن :  $h = 6.625 \times 10^{-34}$  J.s ,  $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$  kg)

**الحل**

$$v_n = 7.3 \times 10^5 \text{ m/s}$$

$$n = 3$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\lambda_n = ?$$

$$r_n = ?$$

$$\lambda_n = \frac{h}{m_e v_n} \quad (1)$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 7.3 \times 10^5}$$

$$= 9.97 \times 10^{-10} \text{ m} = 9.97 \text{ \AA}$$

$$2 \pi r_n = n \lambda_n \quad (ب)$$

$$2 \times \frac{22}{7} r_n = 3 \times 9.97 \times 10^{-10}$$

$$r_n = 4.76 \times 10^{-10} \text{ m} = 4.76 \text{ \AA}$$

### الطيف الخطى لغاز الهيدروجين (انبعاث الضوء من ذرة بون)

\* عندما تكتسب ذرات الهيدروجين طاقة فإنها تتأثر، ويلاحظ التالي :

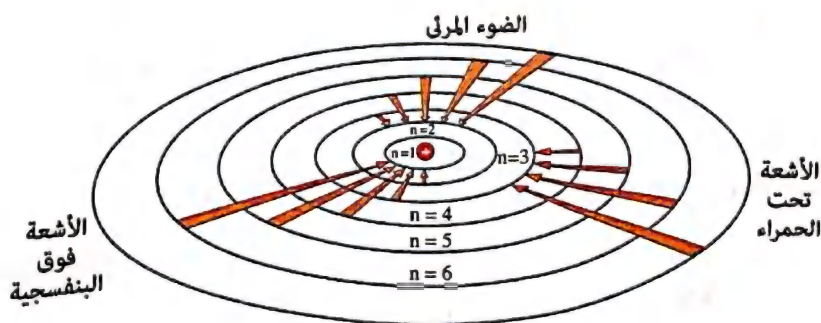
١ لا تثار الذرات كلها بنفس الدرجة، ولذلك تنتقل الإلكترونات في الذرات المختلفة من المستوى الأول K ( $n = 1$ ) إلى مستويات مختلفة أعلى منه L، M، N، ... ( $n = 2$  or  $3$  or  $4$  ...).

٢ يمكن حساب طاقة أى مستوى ( $E_n$ ) في ذرة الهيدروجين من العلاقة :  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ (eV)}$

٣ لا تبقى الإلكترونات في مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جداً (حوالي  $10^{-8} \text{ s}$ ) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

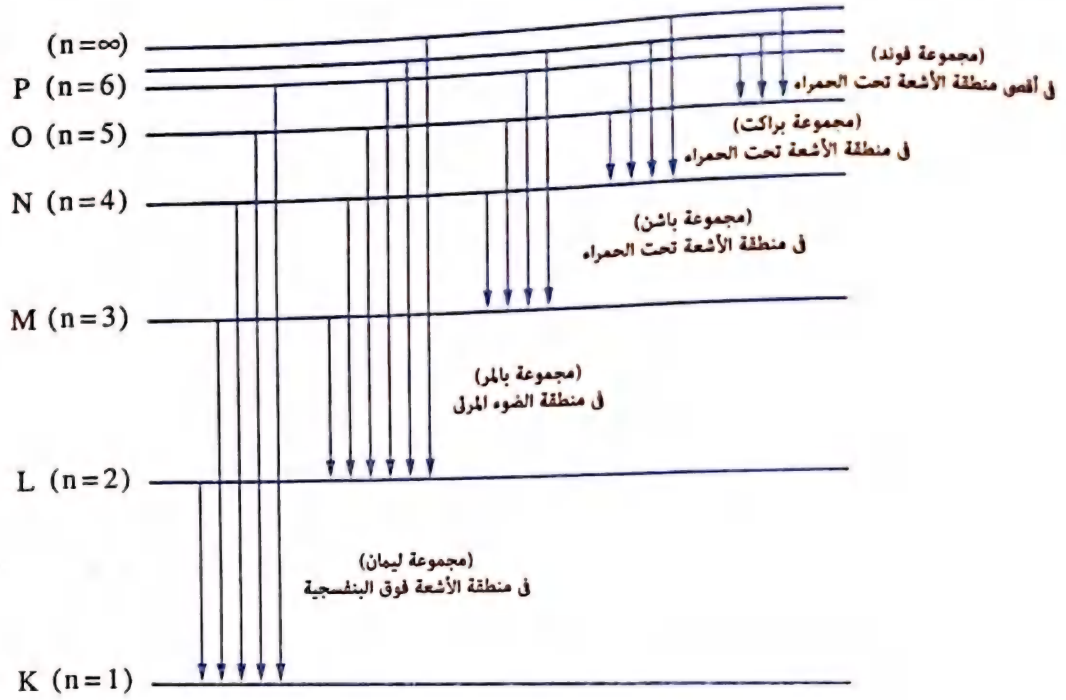
٤ عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة على شكل فوتون تردده  $\nu$  وطاقته  $h\nu$  وطوله الموجي  $\lambda$

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad \lambda = \frac{c}{\nu} \quad \text{حيث :}$$





عند إثارة عدد كبير من ذرات الهيدروجين ينشأ عن عودة الإلكترون داخل كل ذرة من المستويات العليا إلى المستويات الأدنى انبعاث طيف خطي يتكون من خمس مجموعات أو متسلسلات، وتترتب هذه المتسلسلات كالتالي :



<p>أعلى طاقة أعلى تردد</p> <p>أقل طول موجي</p> <p>أقل تردد أكبر طول موجي أقل طاقة</p>	تقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الأول ( $n = 1$ ) K
	تقع في منطقة الضوء المرئي	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الثاني ( $n = 2$ ) L
	تقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الثالث ( $n = 3$ ) M
	تقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الرابع ( $n = 4$ ) N
	تقع في أقصى منطقة الأشعة تحت الحمراء	ينتقل الإلكترون من المستويات الأعلى إلى المستوى الخامس ( $n = 5$ ) O

١ سلسلة ليمان

٢ سلسلة بالمر

٣ سلسلة باشن

٤ سلسلة براكيت

٥ سلسلة فوند

## \* حساب طاقة الإشعاع :

## تنبعث أقل طاقة (أكبر طول موجي)

عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة ( $E_2$ ) إلى مستوى الطاقة الأدنى الذي يليه ( $E_1$ ) :

$$E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$$

## تنبعث أكبر طاقة (أقصر طول موجي)

عند انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة في مالانهاية ( $E_{\infty}$ ) إلى مستوى الطاقة الأدنى ( $E_1$ ) :

$$E_{\infty} - E_1 = \frac{hc}{\lambda_{\min}}, \quad E_{\infty} = 0$$

## مثال ١

تبعاً لنموذج بور لطيف ذرة الهيدروجين، احسب :

- فرق الطاقة بوحدة الجول عند انتقال الإلكترون من المستوى الخامس إلى المستوى الأول.
  - تردد الفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى الرابع إلى المستوى الأول.
  - الطول الموجي للفوتون المنبعث عند انتقال الإلكترون من المستوى الخامس إلى المستوى الثاني.
- (علمًا بأن :  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  ,  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

## الحل

(١)

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}$$

$$E_5 = -\frac{13.6}{(5)^2} = -0.544 \text{ eV}$$

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_5 - E_1 = -0.544 - (-13.6) = 13.056 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 13.056 \times 1.6 \times 10^{-19} = 2.09 \times 10^{-18} \text{ J}$$

(ب)

$$E_4 = -\frac{13.6}{(4)^2} = -0.85 \text{ eV}$$

$$\Delta E = E_4 - E_1 = -0.85 - (-13.6) = 12.75 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 12.75 \times 1.6 \times 10^{-19} = 2.04 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\Delta E = h\nu$$

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{2.04 \times 10^{-18}}{6.625 \times 10^{-34}} = 3.08 \times 10^{15} \text{ Hz}$$



$$E_2 = -\frac{13.6}{(2)^2} = -3.4 \text{ eV}$$

(ج)

$$\Delta E = E_5 - E_2 = -0.544 - (-3.4) = 2.856 \text{ eV}$$

$$\Delta E = 2.856 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4.57 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.57 \times 10^{-19}} = 4.35 \times 10^{-7} \text{ m}$$

**مثال ٢**

إذا علمت أن طاقة المستوى الأول في ذرة الهيدروجين  $-13.6 \text{ eV}$  ، احسب أكبر وأقل طاقة للفوتون الناتج عند عودة الإلكترون المثار للمستوى الأول. (علمًا بأن :  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

**الحل**

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\Delta E = ?$$

$$\Delta E = E_{\infty} - E_1 = 0 - (-13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}) = 21.76 \times 10^{-19} \text{ J} \quad * \text{ أكبر طاقة :}$$

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad * \text{ أقل طاقة :}$$

$$= \left( -\frac{13.6}{(2)^2} \times 1.6 \times 10^{-19} \right) - (-21.76 \times 10^{-19}) = 16.32 \times 10^{-19} \text{ J}$$

**الأطياف**

\* عند سقوط ضوء الشمس على منشور ثلاثي فإنه يتحلل إلى مكوناته من الأشعة المرئية (الضوء المرئي) والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، وتسمى السلسلة الطيفية الناتجة بالطيف.

\* تُعد دراسة وتفسير الطيف الذري للعناصر من أهم الدراسات التي أدت إلى معرفة التركيب الذري والجزيئي لها، ويتم ذلك باستخدام جهاز المطياف.

**المطياف Spectrometer**

**الوظيفة :** تحليل الضوء إلى مكوناته المرئية وغير المرئية والحصول منها على طيف نقي.

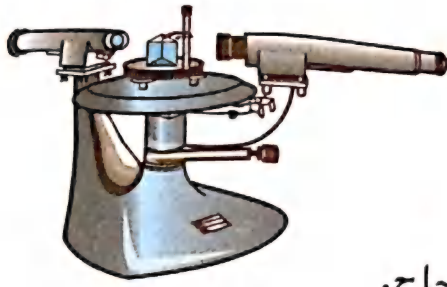
**الطيف النقي**

طيف ألوانه غير متداخلة ويكون لكل لون طول موجي محدد.

**الاستخدام :**

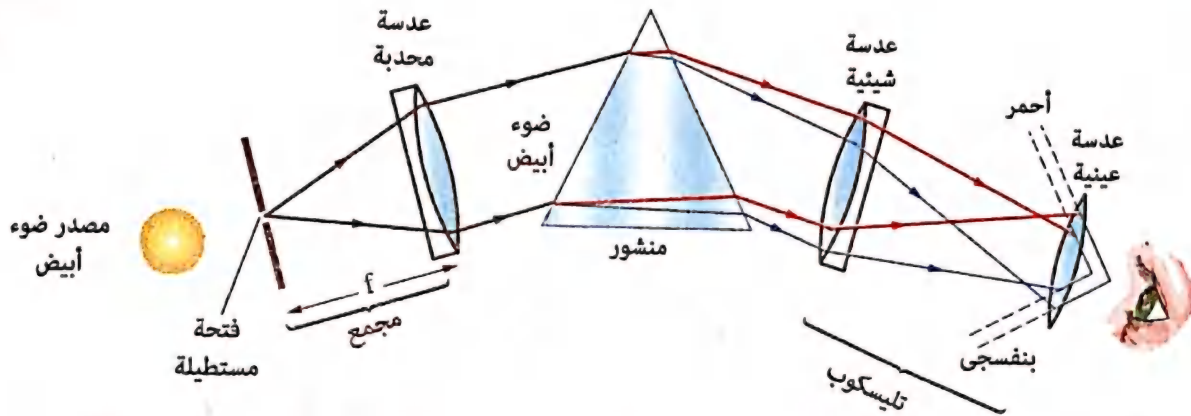
١ التعرف على مصادر الطيف المختلفة.

٢ تقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات.



### التركيب :

- ١ مصدر ضوئي أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم في اتساعها بواسطة مسمار محوى وتوجد هذه الفتحة عند بؤرة عدسة محدبة.
- ٢ منضدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثى من الزجاج.
- ٣ تليسكوب مكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.



### طريقة العمل :

- ١ تضاء الفتحة المستطيلة بضوء أبيض يسقط على أحد أوجه المنشور.
- ٢ يتم ضبط المنشور في وضع النهاية الصغرى للانحراف، ويوجه التليسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور.
- ٣ يعمل المنشور على تحليل أشعة الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف بحيث تخرج أشعة كل لون متوازية مع بعضها وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى لأن لكل لون من ألوان الطيف زاوية انحراف خاصة به.
- ٤ تعمل العدسة الشيئية للتليسكوب على تجميع أشعة كل لون في بؤرة خاصة بحيث يمكن رؤيتها محددة بواسطة العدسة العينية.

### شروط الحصول على طيف نقى بواسطة المطياف (الأسبكترومتر) :

- ١ أن يكون المنشور في وضع النهاية الصغرى للانحراف وتجمع الأشعة المتوازية لكل لون في بؤرة خاصة بواسطة العدسة الشيئية.



## أنواع الأطياف

\* يوجد نوعان من الأطياف :

### طيف مستمر (متصل)

طيف يتضمن توزيعاً مستمراً أو متصلاً للترددات أو الأطوال الموجية.

### طيف خطي

طيف يتضمن توزيعاً غير مستمراً للترددات أو الأطوال الموجية.

### يمكن الحصول عليه عن طريق

تحليل الإشعاعات المنبعثة من الأجسام الساخنة كالشمس وفتيل المصباح الكهربى.

تحليل الإشعاع المنبعث من غاز عنصر تحت ضغط منخفض فى أنابيب التفريغ الكهربى، ويعتبر صفة مميزة للعنصر.

\* تنقسم أطياف العناصر إلى :

### ١ طيف الانبعاث



طيف الانبعاث للهيدروجين الذرى



طيف الانبعاث للزئبق

\* هو الطيف الناتج عن انتقال ذرة مثارة من مستوى أعلى للطاقة إلى مستوى أدنى للطاقة ونظراً لأنه لا يمكن إثارة العناصر إلا إذا كانت فى صورة ذرية

وليست جزيئية، فإن الطيف الخطى لا يصدر من المادة إلا إذا كانت فى صورة ذرات منفصلة أو فى الحالة الغازية تحت ضغط منخفض.

\* يظهر طيف الانبعاث على لوح فوتوغرافى حساس على هيئة خطوط مضيئة على خلفية سوداء.

### ٢ طيف الامتصاص



### طيف الامتصاص الخطى

خطوط معتمة لبعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر، وهذه الخطوط ناتجة عن امتصاص بخار العنصر لخطوط الطيف المميزة له.

\* إذا مر طيف مستمر (مثل ضوء أبيض) خلال غاز ما، فإنه يلاحظ :

اختفاء بعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله، هذه الأطوال الموجية هى نفسها الأطوال الموجية لأطياف الانبعاث الخطية لهذا الغاز لذلك فهى تعتبر خاصية مميزة للعنصر، ويطلق عليها طيف الامتصاص الخطى \* يظهر طيف الامتصاص على لوح فوتوغرافى حساس على هيئة خطوط معتمة على خلفية مضيئة.

## خطوط فرونهاوفر

أطياف امتصاص خطية للعناصر الموجودة في الغلاف الشمسي وقد وجد أنها خاصة بعنصرى الهيليوم والهيدروجين.

\* وقد أثبت هذا وجود عنصرى الهيليوم والهيدروجين في الغلاف الشمسي، حيث إن طيف الشمس يحتوى على أطياف الامتصاص الخطية للهيليوم والهيدروجين ويطلق عليها خطوط فرونهاوفر.

## الأشعة السينية X-Rays

\* اكتشف العالم رونتجن أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية طولها الموجى قصير يتراوح بين  $10^{-13} \text{ m}$  و  $10^{-8} \text{ m}$  أى بين الأطوال الموجية لأشعة جاما والأشعة فوق البنفسجية وهى ذات طاقة عالية، وأطلق عليها الأشعة المجهولة أو الأشعة السينية لأنه لم يكن يعرف ماهيتها.

## خصائص الأشعة السينية

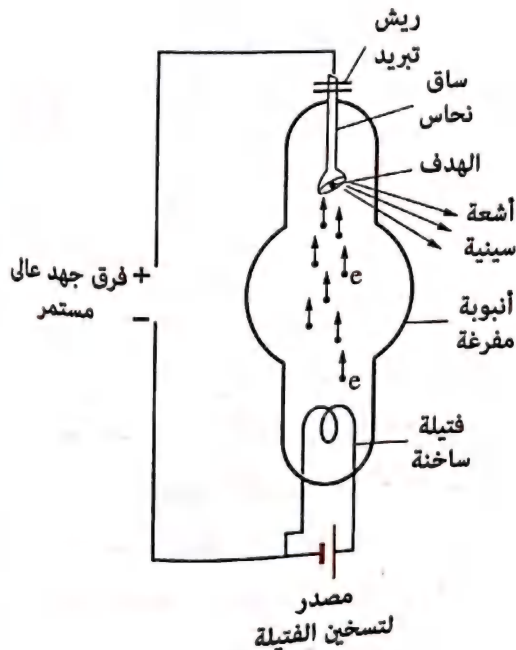
- ١ ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط.
- ٢ ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
- ٣ يحدث لها حيود عند مرورها خلال البلورات.
- ٤ تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة.

## الحصول على الأشعة السينية باستخدام أنبوبة كولج

## التركيب :

أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء تحتوى على :

- ١ فتيلة تعمل كمصدر للإلكترونات (الكاثود).
- ٢ مصدر لتسخين الفتيلة.
- ٣ هدف من عنصر عدده الذرى كبير ودرجة انصهاره عالية مثل التنجستين.
- ٤ ريش تبريد مثبتة على ساق نحاسية تتصل بالهدف (الأنود) لتبريده.

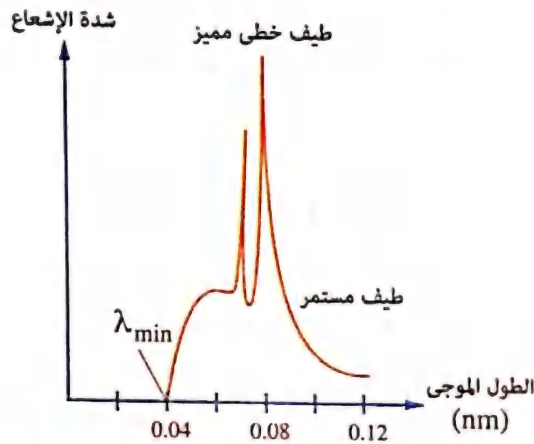


٥ مصدر فرق جهد عالى مستمر بين الفتيلة (الكاثود) والهدف (الأنود)،  
للتجيب الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة.

شرح العمل :

- ١ عند تسخين الفتيلة تنطلق الإلكترونات نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربى.
- ٢ تكتسب الإلكترونات طاقة حركة كبيرة يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.
- ٣ عند اصطدام الإلكترونات بالهدف ينطلق من الهدف أشعة سينية.

### طيف الأشعة السينية



\* بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على طيف يتكون من مركبتين كما بالشكل :

١ طيف مستمر يحتوى على جميع الأطوال الموجية فى مدى معين، ولا يتوقف على نوع مادة الهدف بل يعتمد على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

٢ طيف خطى يقابل أطوالاً موجية محددة تميز العنصر المكون لمادة الهدف.

ويمكن التمييز بينهما كما يلى :

#### الطيف الخطى (المميز) للأشعة السينية

الإشعاع الشديد أو الحاد

#### الطيف المستمر (المتصل) للأشعة السينية

أشعة الكابح (الفرملة) أو الإشعاع اللين  
أو الإشعاع الناعم

يطلق عليه

كيفية التولد

- عند تصادم أحد الإلكترونات المُعجلة المنبعثة من الكاثود (الفتيلة) بأحد الإلكترونات القريبة من نواة إحدى ذرات مادة الهدف يكتسب الأخير طاقة تجعله ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة ويحل محله إلكترون آخر من مستوى طاقة أعلى.

- عند مرور الإلكترونات المُعجلة المنبعثة من الكاثود (الفتيلة) قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف تتناقص سرعتها وتقل طاقتها نتيجة التصادمات والتشتت.

- يظهر الفرق بين طاقتي المستويين على شكل إشعاع له طول موجى محدد،  
يمكن تعيينه من العلاقة :  $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$

- طبقاً لنظرية ماكسويل هيرتز يظهر الفقد فى طاقة الإلكترونات على شكل إشعاعاً كهرومغناطيسياً يحتوى على جميع الأطوال الموجية الممكنة لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.

### العوامل التى يتوقف عليها الطول الموجى

- يتوقف على نوع مادة الهدف حيث يقل الطول الموجى للطيف المميز بزيادة العدد الذرى لعنصر مادة الهدف.  
- لا يتوقف على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف إلا أن الأشعة المميزة قد لا تظهر عند فروق الجهد المنخفضة.

- يتوقف أقصر طول موجى ( $\lambda_{min}$ ) للطيف المستمر على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف  
حيث  $(\lambda_{min} \propto \frac{1}{V})$ .  
- لا يتوقف على نوع مادة الهدف.

### ملاحظات

\* يمكن زيادة شدة الأشعة السينية عن طريق :

- (١) زيادة شدة تيار الفتيلة، مما يؤدي إلى زيادة عدد الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة والتي تصطدم بالهدف فيزداد عدد فوتونات أشعة إكس المنبعثة من الهدف.
- (٢) زيادة فرق الجهد بين الأنود والكاثود.

\* يمكن زيادة نفاذية أشعة إكس عن طريق :

- (١) استخدام هدف ذو عدد ذرى أكبر فيقل الطول الموجى للطيف الخطى المميز.
- (٢) زيادة فرق الجهد بين الأنود والكاثود.

### مثال ١

فى أنبوبة كولدج إذا كان التيار المار فى الأنبوبة شدته 10 mA وفرق الجهد بين الفتيلة والهدف 15 kV ، احسب :  
(١) الطاقة العظمى للإلكترونات.  
(ب) أقصى سرعة للإلكترونات.



(ج) أقصر طول موجي للأشعة السينية الصادرة.  
(د) عدد الإلكترونات التي تصل للهدف في الثانية.

(علمًا بأن :  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ,  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  )  
( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

**الحل**

$I = 10 \times 10^{-3} \text{ A}$	$V = 15 \times 10^3 \text{ V}$	$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$	$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$	$\Delta E = ?$	$v = ?$
		$\lambda_{\min} = ?$	$N = ?$

$$\Delta E = eV = 1.6 \times 10^{-19} \times 15 \times 10^3 = 2.4 \times 10^{-15} \text{ J} \quad (1)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} m_e v^2 \quad (ب)$$

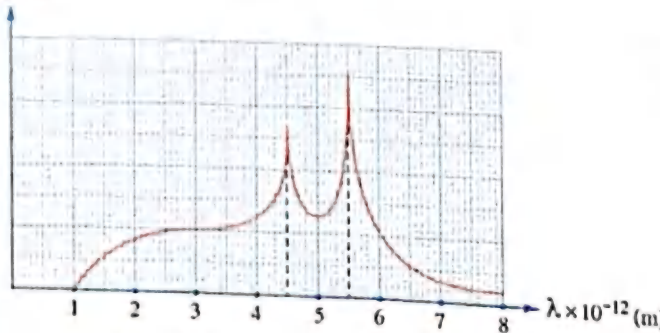
$$v = \sqrt{\frac{2 \Delta E}{m_e}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.4 \times 10^{-15}}{9.1 \times 10^{-31}}} = 72.63 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.4 \times 10^{-15}} = 8.28 \times 10^{-11} \text{ m} = 0.828 \text{ \AA} \quad (ج)$$

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{It}{e} = \frac{10 \times 10^{-3} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{16} \text{ electron} \quad (د)$$

**مثال ٢**

شدة الإشعاع



الشكل المقابل يوضح العلاقة  
بين شدة الإشعاع والطول  
الموجي لطيف الأشعة السينية  
المنبعثة من أنبوبة كولدج،  
احسب :

(أ) فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

(ب) أعلى تردد للطيف الخطي

للأشعة السينية.

(علمًا بأن :  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ,  $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

$$\lambda_{\min} = 1 \times 10^{-12} \text{ m} \quad \lambda_1 = 4.5 \times 10^{-12} \text{ m} \quad \lambda_2 = 5.5 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \quad h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s} \quad c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$V = ? \quad v_{\max} = ?$$

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad (1)$$

$$V = \frac{hc}{e\lambda_{\min}} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{-12}} = 1.24 \times 10^6 \text{ V}$$

$$v_{\max} = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{4.5 \times 10^{-12}} \quad (ب)$$

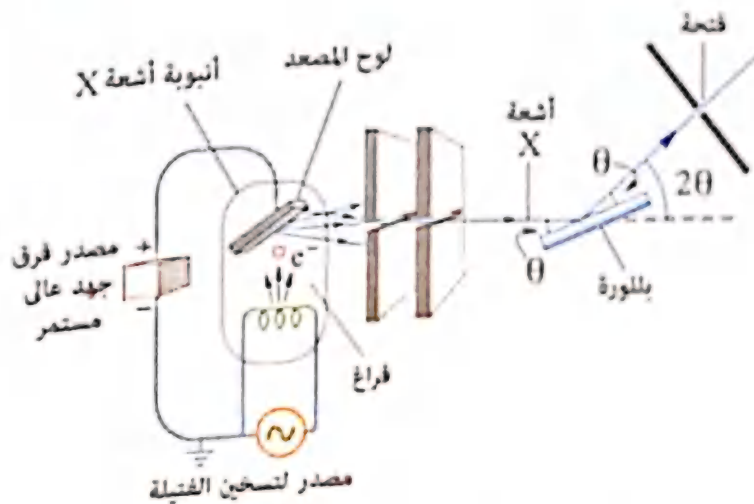
$$= 6.67 \times 10^{19} \text{ Hz}$$

### تطبيقات الأشعة السينية

\* تستخدم الأشعة السينية في :

١ دراسة التركيب البلوري للمواد،

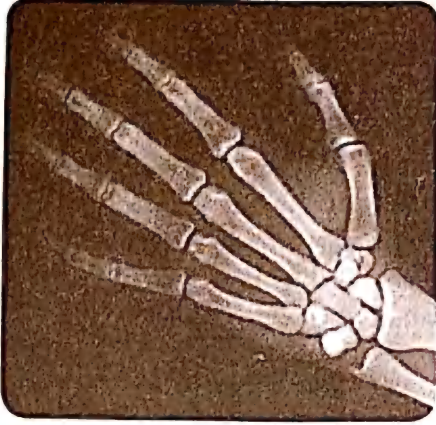
لأن الأشعة السينية تتميز بقابليتها للحيود عند مرورها في البلورات فيحدث تداخل بين الموجات التي تنفذ من بين الذرات كما لو كانت فتحات متعددة (مثل محزوز الحيود أو الشق المزدوج) حيث تتكون هُذب مضيئة وهُذب مظلمة تبعاً لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.



استخدام أشعة إكس في دراسة التركيب البلوري للمواد




٢ الكشف عن العيوب التركيبية في المواد المستخدمة في الصناعات المعدنية،  
نظراً لقدرتها الكبيرة على النفاذ خلال المسافات متناهية الصغر والتي لا ينفذ منها  
الضوء المنظور حيث إن الطول الموجي للأشعة السينية أقل من المسافات البينية بين الذرات.



٣ تصوير العظام وتحديد أماكن الكسور أو الشروخ  
وبعض التشخيصات الطبية،

نظراً لقدرتها على اختراق الأجسام بدرجات  
متفاوتة حيث تنفذ من أماكن الكسور بدرجة أكبر  
من نفاذها خلال العظام وبذلك يتم تحديد أماكن  
الكسور أو الشروخ.





## الوحدة الثانية

مقدمة في  
الفيزياء الحديثة

الليزر

الفصل 7



\* قام العالم الأمريكي ميمان عام ١٩٦٠م بصناعة أول جهاز ليزر باستخدام بلورة من الياقوت المطعم بالكروم، ثم توالى تركيب الأنواع المختلفة من الليزر حتى أصبح ضوء الليزر يغطي مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسى منها المنطقة المرئية وفوق البنفسجية وتحت الحمراء مما أدى إلى انتشار استخدامه سواء فى أفرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة والاتصالات أو أفرع العلوم الأساسية كالكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والجيولوجيا.

\* جاءت تسمية كلمة **ليزر** (LASER) من الحروف الأولى للعبارة :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

وتعنى تكبير شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع وهى تعبر عن فكرة عمل الليزر.

#### الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث Spontaneous Emission and Stimulated Emission

##### إثارة الذرة

عملية امتصاص الذرة لفوتون وانتقالها من المستوى الأرضى إلى أحد مستويات الإثارة.

\* تكون الذرة فى الحالة العادية (مستقرة) عندما تكون فى المستوى الأرضى (طاقته  $E_0$ )، وعندما تكتسب الذرة فوتون طاقته  $h\nu = E_n - E_0$  حيث  $(E_n = E_1, E_2, E_3, \dots)$  فإنها تنتقل من المستوى الأرضى إلى أحد مستويات الطاقة الأعلى ( $E_n$ ) والتي تسمى مستويات الإثارة، وتعرف هذه العملية بعملية إثارة الذرة.

\* تفقد الذرة المثارة طاقة الإثارة بعد فترة زمنية قصيرة جداً وتعود إلى مستواها الأرضي، وذلك بإحدى الطريقتين :

فترة العمر

الفترة الزمنية التي تتخلص بعدها الذرة من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون وتعود إلى حالتها العادية تلقائياً.

١ الانبعاث التلقائي ويحدث بعد انتهاء فترة العمر بدون مؤثر خارجي.

٢ الانبعاث المستحث ويحدث قبل انتهاء فترة العمر بتأثير سقوط فوتون آخر له نفس طاقة الإثارة.

ويمكن توضيح الفرق بينهما كما يلي :

### الانبعاث المستحث

### الانبعاث التلقائي

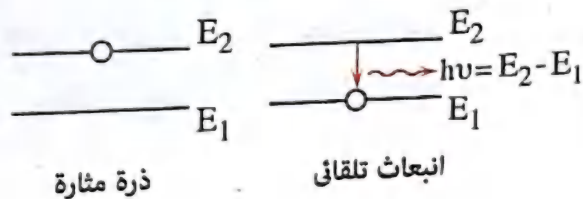
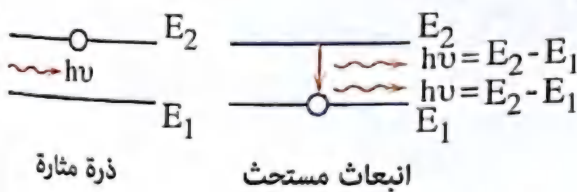
#### كيفية الحدوث

عند انتقال الذرة المثارة من

عند انتقال الذرة المثارة من

مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه في الطاقة قبل انتهاء فترة العمر بتأثير سقوط فوتون طاقته تساوى فرق الطاقة بين المستويين تشع الذرة فوتون طاقته تساوى الفرق بين طاقتي المستويين منبعثاً مع الفوتون الساقط

مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه في الطاقة تلقائياً (دون أى مؤثر خارجي) بعد انتهاء فترة العمر (حوالي  $10^{-8}$  s) تشع الذرة فوتون طاقته تساوى الفرق بين طاقتي المستويين



#### خصائص الفوتونات المنبعثة

- ينبعث فوتونان متساويان في التردد يتحركان في نفس الاتجاه بنفس الطول (أى مترابطان).

- ينبعث فوتون طاقته تساوى فرق الطاقة بين المستويين.



- الفوتونات المنبعثة تغطي مدى كبير من الأطوال الموجية فى الطيف الكهرومغناطيسى.
- تنتشر الفوتونات بصورة عشوائية فى جميع الاتجاهات.
- يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشار، بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسياً مع مربع البعد عن المصدر (تخضع لقانون التربيع العكسى).
- للفوتونات المنبعثة طول موجى واحد فقط.
- تنتشر الفوتونات فى اتجاه واحد على هيئة أشعة متوازية.
- تظل شدة الإشعاع ثابتة أثناء انتشارها ولمسافات طويلة (لا تخضع لقانون التربيع العكسى).

### أمثلة

مصادر الضوء العادية

مصادر الليزر

### قانون التربيع العكسى

تتناسب الشدة الضوئية الساقطة على سطح عكسياً مع مربع المسافة بين السطح والمصدر الضوئى.

\* مما سبق يمكن تعريف كل من الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث كالتالى :

### الانبعاث المستحث

انطلاق فوتون من الذرة المثارة نتيجة سقوط فوتون آخر خارجى له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها قبل انتهاء فترة العمر لتخرج فى النهاية فوتونات فى حالة ترابط (لها نفس الطور والاتجاه والتردد).

### الانبعاث التلقائى

انطلاق فوتون من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائياً (بدون أى مؤثر خارجى).

\* يلاحظ أنه بالرغم من انبعاث فوتونين بتأثير فوتون واحد فى عملية الانبعاث المستحث، فإن ذلك لا يعد خرقاً لقانون بقاء الطاقة.  
لأن أحد الفوتونين هو الفوتون الساقط على الذرة المثارة والآخر ناتج عن عودة الذرة من مستوى الإثارة إلى مستوى طاقة أقل.

## خصائص أشعة الليزر

\* تتميز أشعة الليزر عن أشعة الضوء العادي في أنها ناتجة عن انبعاث مستحث للذرات أما أشعة الضوء العادي يكون الانبعاث السائد فيها هو الانبعاث التلقائي، وهذا الاختلاف ينعكس على خصائص كل منهما كما يلي :

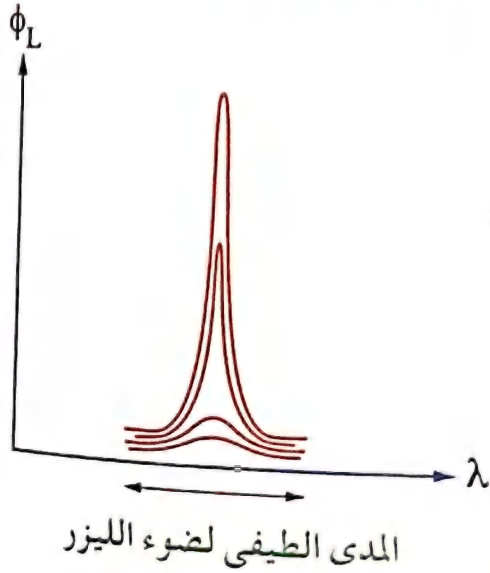
### الليزر

### الضوء العادي

#### النقاء الطيفي

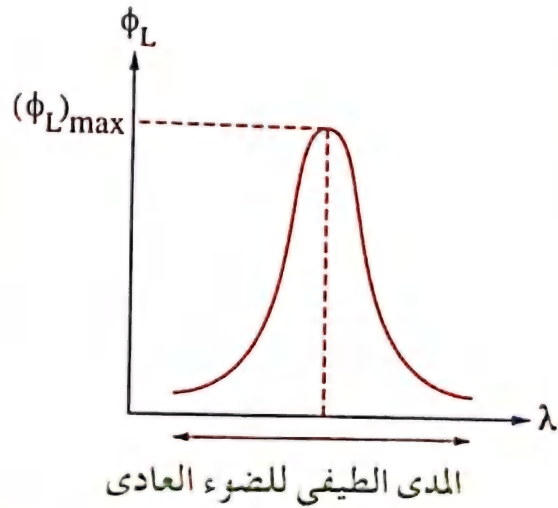
- الفوتونات المنبعثة لها مدى ضئيل جداً من الأطوال الموجية (أى يتميز باتساع طيفى صغير).

- تتركز الشدة عند طول موجى معين لذلك يعتبر ضوء أحادى الطول الموجى.



- الفوتونات المنبعثة لها مدى كبير من الأطوال الموجية (أى يتميز باتساع طيفى كبير) لذلك عند رؤية الضوء بالعين المجردة تستشعر تعدد درجاته.

- تتفاوت شدة الإشعاع من طول موجى لآخر.



#### الترابط

- فوتونات الليزر مترابطة زمانياً ومكانياً لأنها :

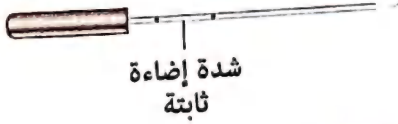
- تنطلق من المصدر فى نفس اللحظة.
- تحتفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة مما يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزاً.

- فوتونات الضوء العادى غير مترابطة زمانياً ومكانياً لأنها :

- تنطلق من المصدر فى لحظات مختلفة.
- تنتشر باختلاف كبير وغير ثابت فى الطور.

## الشدة

لا تخضع لقانون التربيع العكسي وبالتالي تظل شدة الضوء الساقط على السطح ثابتة مهما كانت المسافة بين السطح والمصدر الضوئي ويرجع ذلك إلى ترابط الفوتونات فتكون الأشعة أكثر شدة وتركيز فتنتشر لمسافات بعيدة دون تشتت يذكر



تخضع لقانون التربيع العكسي فتقل شدة الضوء الساقط على السطح بزيادة المسافة بين السطح والمصدر الضوئي ويرجع ذلك إلى عدم ترابط الفوتونات أثناء انتشارها

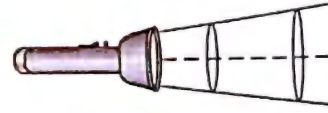


## توازي الحزمة الضوئية

يظل قطر الحزمة الضوئية ثابتاً أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك حزمة الليزر بصورة متوازية (زاوية الانفرج ضئيلة جداً) ولا تعاني تشتت يذكر لأن فوتونات الليزر مترابطة زمانياً ومكانياً ومن ثم يمكن نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ

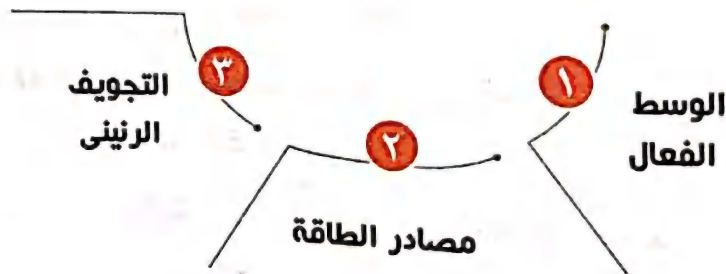


يزداد قطر الحزمة الضوئية أثناء انتشارها نتيجة التشتت (زاوية الانفرج كبيرة نسبياً)



## المكونات الأساسية لليزر

\* بالرغم من وجود أنواع مختلفة من الليزر إلا أن أي جهاز ليزر يتضمن ثلاثة عناصر أساسية، هي :



وستتناول فيما يلي كل منها على حدة بشيء من التفصيل.

## ١ الوسط الفعال

\* هو المادة الفعالة لإنتاج شعاع الليزر، وقد يكون في صورة :

- |   |                     |     |                                   |
|---|---------------------|-----|-----------------------------------|
| ١ | بلورات صلبة         | مثل | الياقوت الصناعي.                  |
| ٢ | مواد صلبة شبه موصلة | مثل | بلورات السيليكون.                 |
| ٣ | صبغات سائلة         | مثل | الصبغات العضوية المذابة في الماء. |
| ٤ | ذرات غازية          | مثل | خليط غازى الهيليوم والنيون.       |
| ٥ | غازات متأينة        | مثل | غاز الأرجون المتأين.              |
| ٦ | جزيئات غازية        | مثل | غاز ثانى أكسيد الكربون.           |

## ٢ مصادر الطاقة

\* هى المسئولة عن إكساب ذرات أو جزيئات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها، ومنها :

### ١ الإثارة بالطاقة الكهربائية :

وتتم عن طريق :

- التفريغ الكهربى باستخدام فرق جهد عالى مستمر وغالباً ما تستخدم هذه الطريقة فى أجهزة الليزر الغازية مثل ليزر (الهيليوم - نيون) وليزر ثانى أكسيد الكربون وليزر الأرجون.

- استخدام مصادر الترددات الراديوية.

### ٢ الإثارة بالطاقة الضوئية :

وتعرف بالضخ الضوئى وتتم عن طريق استخدام :

- المصابيح الوهاجة ذات الطاقات العالية كما فى ليزر الياقوت.

- شعاع ليزر كما فى ليزر الصبغات السائلة.

### عملية الضخ الضوئى

إثارة ذرات الوسط الفعال بالطاقة الضوئية لتوليد الليزر.

### ٣ الإثارة بالطاقة الحرارية :

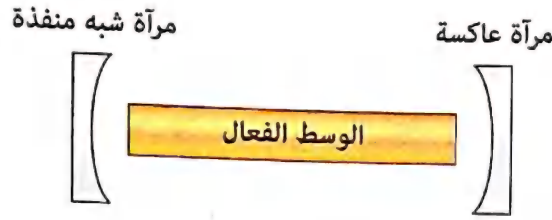
حيث يستخدم التأثير الحرارى الناتج عن الضغط الحركى للغازات فى إثارة المواد التى تبعث أشعة الليزر.

### ٤ الإثارة بالطاقة الكيميائية :

حيث تستخدم الطاقة الناتجة عن بعض التفاعلات الكيميائية لإنتاج شعاع الليزر مثل الطاقة الناتجة عن تفاعل مزيج من الهيدروجين والفلور أو فلوريد الديوتيريوم وثانى أكسيد الكربون.

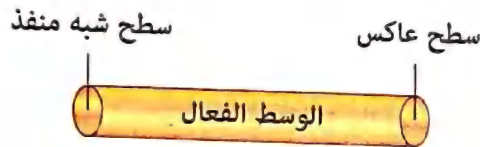
\* هو الوعاء الحاوى للمادة الفعالة والمنشط والمسئول عن عملية التكبير، وهو نوعان :

### ١ تجويف رنينى خارجى :



عبارة عن مرأتين متوازيتين وعموديتين على محور الأنبوبة إحداهما عاكسة والأخرى شبه منفذة تحصران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون الانعكاسات المتعددة بينهما هى الأساس فى عملية التكبير الضوئى وهو التجويف المستخدم فى ليزر الغازات، مثل ليزر (الهيليوم - نيون).

### ٢ تجويف رنينى داخلى :

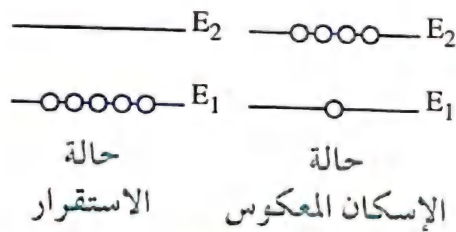


حيث يتم طلاء نهايتى المادة الفعالة لتعمل كمرأتين متوازيتين ومتعامدتين على محور البلورة إحداهما عاكسة والأخرى شبه منفذة لتسمح بمرور بعض أشعة الليزر المتولدة وهو التجويف المستخدم فى ليزر الجوامد، مثل ليزر الياقوت.

## نظرية عمل الليزر (الفعل الليزرى)

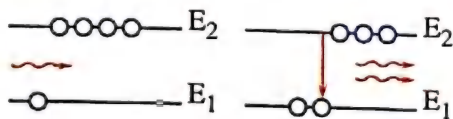
\* يعتمد الفعل الليزرى على :

١ الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال إلى حالة الإسكان المعكوس.

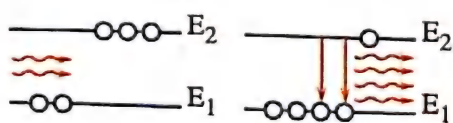


### حالة الإسكان المعكوس

الحالة التى يكون فيها عدد الذرات فى مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها فى المستويات الأدنى.



٢ انطلاق فوتونات من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.



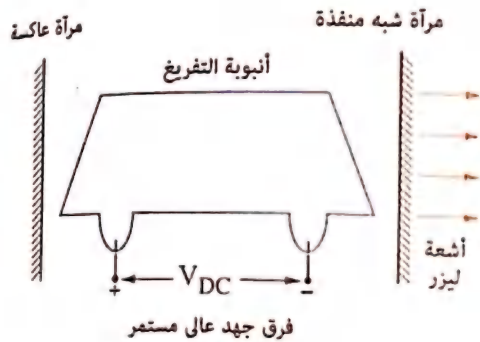
٣ تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التجويف الرنينى حيث تحدث انعكاسات متتالية للشعاع بين سطحى مرأتى التجويف فيحث ذرات أخرى على طول مساره لتولد فوتونات جديدة.

## أنواع الليزر

- \* هناك أنواع مختلفة من الليزر فهناك :
  - ليزرات صلبة مثل ليزر الياقوت.
  - ليزرات غازية مثل ليزر (الهيليوم - نيون) وليزر الأرجون.
  - ليزرات سائلة مثل ليزر الصبغات السائلة.
- وسوف نتناول بشئ من التفصيل دراسة أحد الليزرات الغازية وهو ليزر (الهيليوم - نيون).

## ليزر (الهيليوم - نيون) Helium-Neon Laser

### تركيب الجهاز :



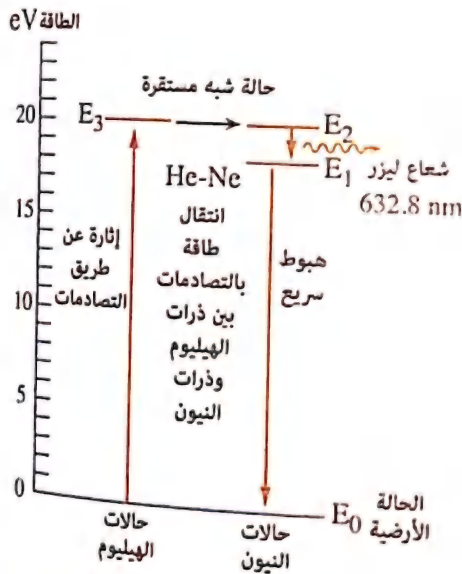
- 1 أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من غازي الهيليوم والنيون بنسبة 1 : 10 تحت ضغط منخفض حوالي 0.6 mmHg
- 2 مرأتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة إحداهما عاكسة (معامل انعكاسها 99.5 %) والأخرى شبه منفذة (معامل انعكاسها 98 %).

3 مجال كهربى عالى التردد أو فرق جهد كهربى عالى مستمر يسلط على الغاز داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربى وإثارة ذرات الغاز.

### شرح العمل :

- 1 يعمل فرق الجهد الكهربى على إثارة ذرات الهيليوم إلى مستويات طاقة أعلى.
- 2 تصطدم ذرات الهيليوم المثارة تصادمًا غير مرناً مع ذرات نيون غير مثارة ونظراً لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فيهما تنتقل طاقة الإثارة من ذرات الهيليوم إلى ذرات النيون فتثار ذرات النيون.

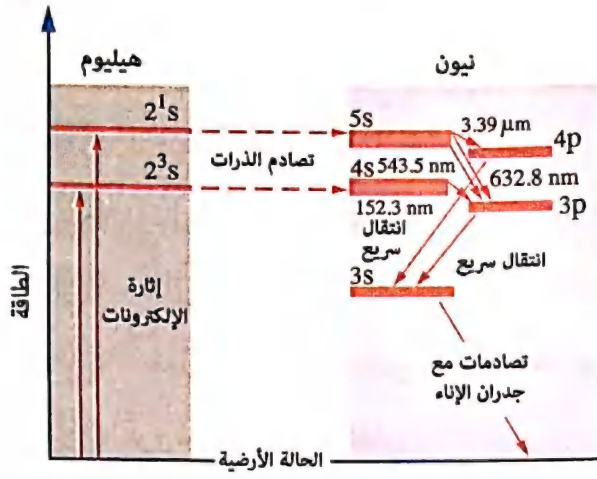
3 باستمرار عملية التصادم بين ذرات الهيليوم المثارة وذرات النيون يحدث تراكم لذرات النيون فى مستوى إثارة يتميز بكبر فترة العمر له (حوالى  $10^{-3}$  s) يعرف بمستوى الطاقة شبه المستقر، وبذلك يتحقق وضع الإسكان المعكوس لغاز النيون.



مخطط مستويات الطاقة فى ليزر (الهيليوم - نيون)

مستوى الطاقة شبه المستقر

مستوى طاقة يتميز بفترة عمر طويلة نسبياً (حوالى  $10^{-3}$  s).



الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة في ليزر (الهيليوم - نيون)

٤ تهبط بعض ذرات النيون تلقائياً إلى مستوى إثارة أقل وينطلق منها فوتونات طاقة كل منها تساوى الفرق بين طاقتي المستويين، تنتشر هذه الفوتونات بصورة عشوائية في جميع الاتجاهات داخل الأنبوبة.

٥ الفوتونات التي تتحرك في اتجاه محور الأنبوبة أو موازية له تصطدم بإحدى المرآتين فترتد إلى الداخل مرة أخرى لتحث عدة انعكاسات متتالية.

٦ أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين تصطدم ببعض ذرات النيون التي لم تنتهي فترة العمر لها في المستوى شبه المستقر،

فيحدث لها انبعاث مستحث وينطلق من كل ذرة فوتونان لهما نفس التردد والطور والاتجاه. تتكرر الخطوة السابقة مرات عديدة وفي كل مرة يتضاعف عدد الفوتونات الناتج بالانبعاث المستحث حتى تتم عملية تضخيم الإشعاع.

٧ عندما تصل شدة الإشعاع إلى حد معين يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذ على شكل شعاع ليزر ويبقى باقي الشعاع داخل الأنبوبة لتستمر عملية الانبعاث المستحث وتضخيم شعاع الفوتونات وانطلاق الليزر.

٨ ذرات النيون التي هبطت إلى مستوى الإثارة الأقل تفقد ما بقي بها من طاقة في صور أخرى متعددة وتهبط إلى المستوى الأرضي ثم تعود لتثار بالتصادم مع ذرات هيليوم أخرى.

٩ ذرات الهيليوم التي فقدت طاقة إثارتها بالتصادم بذرات النيون تثار بدورها مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربائي داخل الأنبوبة وهكذا.

## ملاحظات

\* غازي الهيليوم والنيون مناسبين لإنتاج ليزر غازي،

**للقارب** قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة فيهما.

\* يشترط في مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس في

حين لا يتطلب ذلك في مصادر الضوء العادية،

**لأن** أساس عمل الليزر تواجد أكبر عدد من الذرات في مستوى إثارة شبه مستقر حتى يكون الانبعاث المستحث هو الانبعاث السائد أما في مصادر الضوء العادية يكون الانبعاث التلقائي هو الانبعاث السائد.

## تطبيقات على الليزر

\* تستخدم أشعة الليزر فى مجالات متعددة منها :

- ١ التصوير المجسم (الهولوجرافى).
- ٢ مجال الطب.
- ٣ مجال الاتصالات.
- ٤ المجالات العسكرية.
- ٥ مجال الصناعة.
- ٦ مجال الحاسبات.
- ٧ أعمال المساحة لتحديد المساحات والأبعاد بدقة.
- ٨ عروض الليزر والفنون.
- ٩ أبحاث الفضاء.

\* وفيما يلى سنتناول بعضها بشئ من التفصيل :

### ١ التصوير المجسم (الهولوجرافى)

\* تتكون صور الأجسام بتجميع الأشعة المنعكسة على الجسم المراد تصويره على اللوح الفوتوغرافى حيث يتم تسجيل المعلومات التى تحملها الأشعة :

#### فى الصورة المجسمة

يسجل اللوح الفوتوغرافى الحساس كل المعلومات التى تحملها الأشعة المنعكسة عن سطح الجسم مثل الاختلاف فى الشدة الضوئية والاختلاف فى طول مسار الأشعة (والذى ينتج عن اختلاف تضاريس الجسم) أو بتعبير آخر الاختلاف فى طور موجات الضوء (فرق الطور  $= \frac{2\pi}{\lambda} \times \text{فرق المسار}$ )

#### فى الصورة المستوية

يسجل اللوح الفوتوغرافى الحساس جزء فقط من المعلومات التى تحملها الأشعة المنعكسة عن سطح الجسم وهو الاختلاف فى الشدة الضوئية فقط، والتى تتناسب طردياً مع مربع السعة

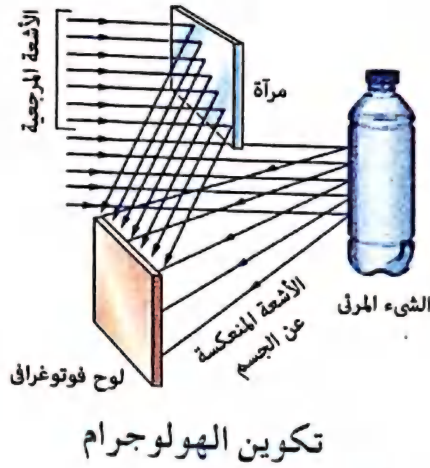
### آلية التصوير المجسم

\* اقترح العالم جابور فى عام ١٩٤٨م طريقة للحصول على ما فقد من معلومات أثناء تكوين الصورة المستوية واستخراجها من الأشعة التى تترك الجسم المضاء ويتم ذلك كالاتى :

#### الأشعة المرجعية

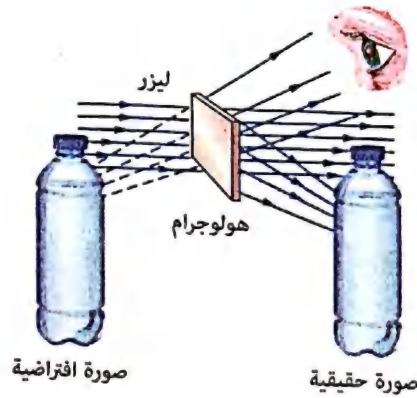
أشعة متوازية تستخدم فى التصوير المجسم لها نفس الطول الموجى للأشعة المنعكسة عن الجسم.

١ تستخدم حزمة من الأشعة المتوازية لها نفس الطول الموجى للأشعة التى تترك الجسم المضاء (الجسم المراد تصويره) تسمى الأشعة المرجعية.



٢ تلتقى الأشعة المرجعية مع الأشعة التي تترك الجسم المضاء حاملة المعلومات عند اللوح الفوتوغرافي.

٣ يحدث تداخل ضوئي بين حزمتي الأشعة، وعند تجميع اللوح الفوتوغرافي تظهر هُـدب التداخل وهي صورة مشفرة تسمى الهولوجرام.



٤ بإنارة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجي للأشعة المرجعية وبالنظر خلاله بالعين المجردة نرى صورة مماثلة للجسم تمامًا بأبعاده الثلاثة دون استخدام عدسات.

\* مما سبق يمكن تعريف الهولوجرام كالتالي :

### الهولوجرام

صورة مشفرة تتكون نتيجة تداخل الأشعة المرجعية مع الأشعة المنعكسة عن الجسم المراد تصويره وتظهر على شكل هُـدب تداخل بعد تجميع اللوح الفوتوغرافي.

### ملاحظات

- \* لا يمكن تكوين صور بأبعادها الثلاثية إلا باستخدام أشعة الليزر، **لأن** شرط الحصول على الصور ثلاثية الأبعاد استخدام فوتونات مترابطة توضح اختلاف كل من شدة الإضاءة وفرق الطور لهُـدب التداخل الناتجة عنها وهذا لا يتوافر إلا في أشعة الليزر.
- \* باستخدام أشعة الليزر يمكن تخزين عشرات الصور على الهولوجرام كما يمكن الحصول على صور مجسمة لأجسام متحركة.

### ٢ مجال الطب

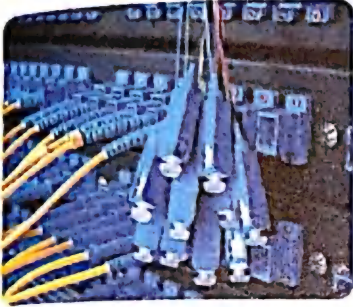
- \* تستخدم أشعة الليزر مع الألياف الضوئية في التشخيص والعلاج بالمنظار.
- \* كما تستخدم أيضًا في طب العيون :

## ١ علاج انفصال شبكية العين :

- عندما تنفصل بعض أجزاء من الشبكية عن الطبقة التي تحتها، يؤدي ذلك إلى فقد الأجزاء المصابة بالانفصال لوظيفتها، وإذا لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين لانفصال تام للشبكية وتفقدها قدرتها على الإبصار.

- بتصويب حزمة رفيعة من الليزر إلى الأجزاء المصابة بالانفصال أو التمزق تعمل الطاقة الحرارية لأشعة الليزر على إتمام عملية الالتحام في أجزاء من الثانية.

## ٢ علاج حالات قصر النظر وطول النظر فيستغنى المريض عن النظارة.



كابلات التليفونات

## ٣ مجال الاتصالات

\* تستخدم أشعة الليزر والألياف الضوئية كبديل لكابلات التليفونات.

## ٤ المجالات العسكرية

\* تستخدم أشعة الليزر في توجيه الصواريخ بدقة عالية وفي القنابل الذكية ورادار الليزر، وفيما يعرف بحرب النجوم حيث تستخدم أشعة الليزر لتدمير الصواريخ والطائرات وهي في الفضاء بعد إطلاقها مباشرة.



رادار الليزر

## ٥ مجال الصناعة

\* تولد بعض أنواع الليزر طاقة تكفي لصهر المعادن (فمثلاً يمكن تركيز ضوء الليزر لإسالة الحديد وتبخيره) ومنها ما يولد طاقة تكفي لثقب الماس.

## ٦ مجال الحاسبات

\* يستخدم في :

١ التسجيل على الأقراص المدمجة (CDs).

٢ طباعة الليزر حيث يستخدم شعاع الليزر في نقل المعلومات من الكمبيوتر إلى أسطوانة عليها مادة حساسة للضوء ثم يتم الطبع على الورق باستخدام الحبر.





## الوحدة الثانية

مقدمة في  
الفيزياء الحديثة

## الإلكترونيات الحديثة

## 8 الفصل

### الدرس الأول

- بلورة شبه الموصل.
- الوصلة الثنائية.

### الدرس الثاني

- الترانزستور .
- الإلكترونيات التناظرية والرقمية.

## • بللورة شبه الموصل • الوصلة الثنائية



### أشباه الموصلات

مواد توصيليتها الكهربائية متوسطة بين الموصلات والعوازل، وتتميز بأن التوصيلية الكهربائية لها تزداد بارتفاع درجة الحرارة مثل السيليكون والجرمانيوم.

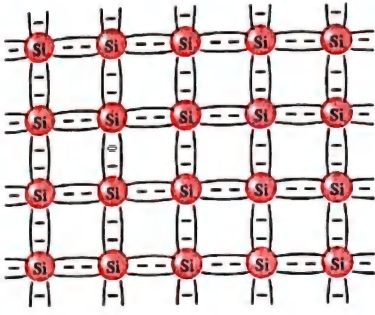
\* أصبحت الأجهزة الإلكترونية تلعب دوراً أساسياً في حياتنا في نقل المعلومات والترفيه والثقافة وفي مجال الطب سواء في التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية وكذلك في الحرب، وسنتناول خلال هذا الفصل قدرًا مبسطًا من المعلومات عن الإلكترونيات والتي يدخل في تركيبها أشباه الموصلات.

### بللورة شبه الموصل النقي

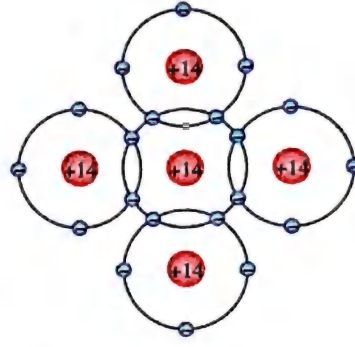
\* تحتوي كل ذرة من ذرات السيليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) على 4 إلكترونات في مدارها الأخير لذلك ترتبط كل ذرة داخل البللورة مع أربع ذرات مجاورة بروابط تساهمية ليكتمل المدار الأخير لها بـ 8 إلكترونات وتصل إلى حالة الاستقرار.

### البللورة

ترتيب هندسي منتظم للذرات في الحالة الصلبة.



بللورة السيليكون



الرابطية التساهمية



ذرة سيليكون

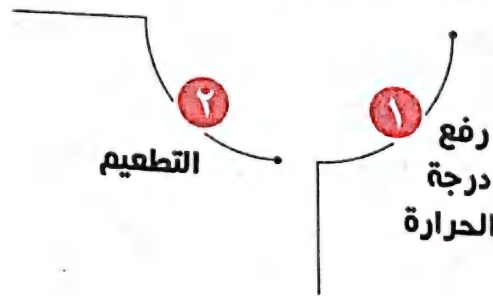
\* وهنا يمكن التمييز بين ثلاث حالات للإلكترونات :

- ١ إلكترونات المستويات الداخلية : ترتبط بشدة بالنواة.
- ٢ إلكترونات التكافؤ : تشارك في عمل روابط تساهمية بين الذرات.
- ٣ الإلكترونات الحرة المنطلقة من كسر الروابط : تتحرك حركة عشوائية محدودة بحيز أكبر هو البلورة.

\* يمكن استخدام الطاقة الحرارية أو الضوئية في كسر روابط البلورة، وتكون الطاقة اللازمة لكسر الرابطة = الطاقة الناتجة عن التئام (إعادة تكوين) الرابطة.

### طرق رفع كفاءة توصيل المادة شبه الموصلة

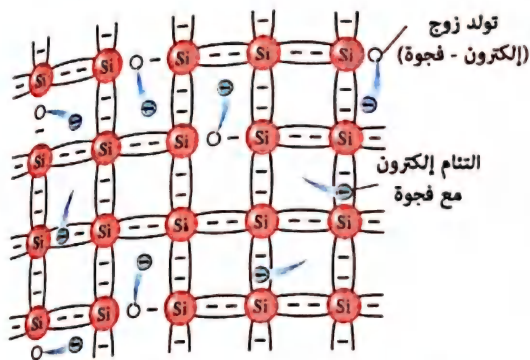
\* تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للحرارة، وكذلك للشوائب لذلك يمكن زيادة التوصيل الكهربى لبللورة شبه الموصل بإحدى طريقتين :



### ١ رفع درجة الحرارة Raising the temperature

\* في درجات الحرارة المنخفضة (خاصةً عند صفر كلفن) تكون بللورة شبه الموصل النقى عازلة تمامًا،

لأن جميع الروابط بين ذرات البللورة تكون سليمة، ولا توجد إلكترونات حرة.



\* عند ارتفاع درجة حرارة البلورة تزداد توصيليتها الكهربائية،

**نتيجة** كسر بعض الروابط التساهمية فتنتقل منها بعض الإلكترونات وتصبح إلكترونات حرة تتحرك حركة عشوائية داخل البلورة.

### الفجوة

تمثل شحنة موجبة تعبر عن مكان فارغ يتركه الإلكترون في رابطة مكسورة في بلورة شبه الموصل.

\* كل إلكترون يتحرر يترك مكانه فارغاً

في الرابطة المكسورة فيما يعرف بالفجوة وبالتالي يتساوى عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات.

\* لا يعتبر تحرر الإلكترون وتكون الفجوة تأين للذرة،

**لأنه** سريعاً ما تقتنص الفجوة إلكترون من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة فتعود الذرة متعادلة وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى ويكون اتجاه حركة الفجوات عكس اتجاه حركة الإلكترونات.

\* عندما يتساوى عدد الروابط المكسورة في الثانية مع عدد الروابط المتكونة في الثانية يصبح عدد الإلكترونات والفجوات ثابت وهو ما يطلق عليه حالة الاتزان الديناميكي (الاتزان الحراري).

\* بزيادة درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة والفجوات فتزداد التوصيلية الكهربائية للبلورة وعند درجة حرارة ما يتساوى عدد الروابط المكسورة في الثانية مع عدد الروابط المتكونة في الثانية وتكون البلورة قد وصلت لحالة الاتزان الديناميكي عند هذه الدرجة.

لذلك يمكن تعريف حالة الاتزان الديناميكي لبلورة شبه موصل نقى كالتالى :

الاتزان الديناميكي (الحرارى) لبلورة شبه موصل نقى

الحالة التى يكون عندها عدد الروابط المكسورة في الثانية يساوى عدد الروابط المتكونة في الثانية في بلورة شبه الموصل ليبقى عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابتاً لكل درجة حرارة.

### ملحوظة

\* لا يفضل تسخين شبه الموصل النقى لزيادة توصيليته للتيار الكهربى ،

**لأن** زيادة درجة الحرارة بمقدار كبير يؤدي إلى تفكك الشبكة البلورية وكسر الروابط وبالتالي تتحطم البلورة.



\* مما سبق يمكن تعريف شبه الموصل النقي كالتالى :

شبه الموصل النقي

شبه موصل يكون فيه تركيز الإلكترونات الحرة = تركيز الفجوات عند أى درجة حرارة.

\* مما سبق يمكن تلخيص خصائص بلورة شبه الموصل النقي كالتالى :

- ١) إلكترونات المستويات الداخلية مرتبطة بقوة جذب كبيرة مع النواة أما إلكترونات التكافؤ فى الغلاف الخارجى تربط الذرات المتجاورة بروابط تساهمية يمكن كسر نسبة منها وتحرر إلكترونات وفجوات داخل البلورة.
- ٢) عند درجات الحرارة المنخفضة (خاصةً عند صفر كلفن) تكون الروابط بين الذرات سليمة ولا توجد إلكترونات حرة داخل البلورة فتتعدى التوصيلية الكهربائية، وبالتالي فإن المستوى الأخير لكل ذرة مكتمل بالإلكترونات عند الصفر المطلق.
- ٣) بارتفاع درجة الحرارة تنكسر بعض الروابط وتحرر بعض الإلكترونات وعندما يترك أى إلكترون مكانه يتواجد فى هذا المكان فجوة ولا يُعتبر ذلك تأين للذرة حيث تقتنص الذرة إلكترونًا وتعود إلى حالة التعادل وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى.
- ٤) بزيادة ارتفاع درجة الحرارة يزداد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات فتزداد التوصيلية الكهربائية.
- ٥) تتحرك الإلكترونات حركة عشوائية داخل البلورة وتملأ الفجوات التى تنشأ عن كسر الروابط.
- ٦) فى البلورة الواحدة تكون الطاقة اللازمة لكسر أى رابطة = الطاقة الناتجة عن التئام (تكون) الرابطة سواء كانت هذه الطاقة حرارية أو ضوئية.
- ٧) عندما تصل البلورة إلى حالة الاتزان الديناميكي يتساوى عدد الروابط المكسورة فى الثانية مع عدد الروابط المتكونة فى الثانية فيصبح عدد الإلكترونات الحرة والفجوات ثابت لكل درجة حرارة.

\* بعد أن تعرفنا على خصائص أشباه الموصلات يمكننا المقارنة بين الموصلات وأشباه الموصلات، كالتالى :

الموصلات (المعادن)	أشباه الموصلات
تتكون من أيونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التى تتحرك عشوائياً فى الموصل، وتوجد قوة تجاذب بين الأيونات والإلكترونات	تتكون من ذرات تربطها روابط تساهمية
الإلكترونات	الإلكترونات والفجوات
حاملات الشحنة	بنية البلورة

لا يتغير عدد الإلكترونات الحرة بتغير درجة الحرارة	يزداد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات بزيادة درجة الحرارة	أثر الحرارة على عدد حاملات الشحنة
تزداد	تقل	أثر ارتفاع درجة الحرارة على المقاومة الكهربائية

## التطعيم Doping

٢

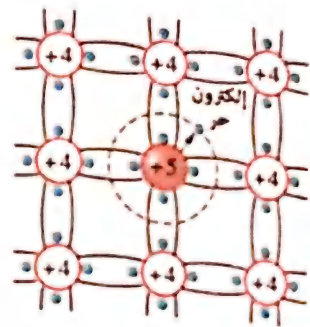
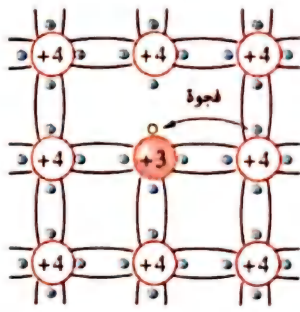
\* يمكن زيادة التوصيلية الكهربائية لشبه الموصل من خلال إضافة ذرات عناصر خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ تسمى الشوائب، ويطلق على هذه العملية التطعيم، وتفضل هذه الطريقة لزيادة التوصيلية الكهربائية لشبه الموصل عن رفع درجة الحرارة.

\* وبالتالي يمكن الحصول على نوعين من أشباه الموصلات غير النقية، هما :

شبه موصل من النوع الموجب (p-type)	شبه موصل من النوع السالب (n-type)
نوع الذرة الشائبة	
شوائب مستقبلة (مكتسبة) وهي عبارة عن ذرات من عنصر ثلاثي التكافؤ (تحتوى على 3 إلكترونات فى المستوى الأخير) مثل الألومنيوم (Al) أو البورون (B) وهي تنتمى لعناصر المجموعة الثالثة بالجدول الدورى	شوائب معطية (مانحة) وهي عبارة عن ذرات من عنصر خماسى التكافؤ (تحتوى على 5 إلكترونات فى المستوى الأخير) مثل الفوسفور (P) أو الأنثيمون (Sb) وهي تنتمى لعناصر المجموعة الخامسة بالجدول الدورى
عمل الذرة الشائبة	
تشارك ذرة الشائبة بـ 3 إلكترونات فى تكوين ثلاث روابط وبالتالي تصبح هناك رابطة تساهمية ناقصة ونتيجة لذلك تتكون فجوة ولكى تصل لحالة الاستقرار (التركيب الثماني) تكتسب إلكترون من إحدى روابط السيليكون فتظهر فجوة فى رابطة السيليكون وتتحول ذرة الشائبة إلى أيون سالب لا يشارك فى عملية التوصيل الكهربى	تشارك ذرة الشائبة بـ 4 إلكترونات فى تكوين أربع روابط مع ذرات السيليكون المجاورة لها، ويبقى إلكترون واحد يكون ضعيف الارتباط بالنواة فسرعان ما تفقده ويصبح إلكترون حر وتتحول ذرة الشائبة إلى أيون موجب لا يشارك فى عملية التوصيل الكهربى



### شكل البلورة المطعمة



### نوع حاملات الشحنة السائدة

الفجوات

الإلكترونات الحرة

### ذرات الشائبة بعد التطعيم

تصبح أيونات سالبة تركيزها  $N_A^-$

تصبح أيونات موجبة تركيزها  $N_D^+$

### في حالة الاتزان الحراري

مجموع الشحنة السالبة = مجموع الشحنة الموجبة

مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة

$$p = n + N_A^-$$

$$n = p + N_D^+$$

(حيث :  $n$ ) تركيز الإلكترونات الحرة،  $(p)$  تركيز الفجوات،  $(N_D^+)$  تركيز أيونات الشائبة المعطية،  $(N_A^-)$  تركيز أيونات الشائبة المستقبلة)

أي أن

البلورة متعادلة الشحنة

العلاقة بين  $p$  ,  $n$

$$p > n$$

$$n > p$$

• مما سبق يمكن تعريف شبه الموصل من النوع السالب (n-type) وشبه الموصل من النوع الموجب (p-type) كالتالي :

شبه موصل من النوع الموجب (p-type)

شبه موصل مُطعم بشوائب من عنصر ثلاثي التكافؤ، ويكون فيه تركيز الفجوات أكبر من تركيز الإلكترونات الحرة.

شبه موصل من النوع السالب (n-type)

شبه موصل مُطعم بشوائب من عنصر خماسي التكافؤ، ويكون فيه تركيز الإلكترونات الحرة أكبر من تركيز الفجوات.

\* تظل بلورة شبه الموصل المطعمة متعادلة كهربياً،

**لأن** عند تطعيم بلورة شبه الموصل بشوائب ثلاثية أو خماسية التكافؤ فإن عدد الشحنات السالبة يساوى عدد الشحنات الموجبة دائماً، حيث إن جميع الذرات سواء ذرات شبه الموصل أو ذرات الشوائب متعادلة.

### قانون فعل الكتلة فى أشباه الموصلات

\* إذا كان  $n_i$  هو تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات فى بلورة السيليكون النقى، فإن :  $np = n_i^2$

#### قانون فعل الكتلة

حاصل ضرب تركيز الإلكترونات الحرة  $\times$  تركيز الفجوات = مقدار ثابت لكل درجة حرارة لا يتوقف على نوع الشائبة ويساوى مربع تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات فى بلورة شبه الموصل النقى عند ثبوت درجة الحرارة.

\* من قانون فعل الكتلة يتضح أنه فى حالة :

#### بلورة p-type

$$\therefore p = n + N_A^-$$

$$\therefore n \ll N_A^-$$

$$\therefore p \approx N_A^-$$

$$\therefore np = n_i^2$$

$$\therefore n = \frac{n_i^2}{N_A^-}$$

#### بلورة n-type

$$\therefore n = p + N_D^+$$

$$\therefore p \ll N_D^+$$

$$\therefore n \approx N_D^+$$

$$\therefore np = n_i^2$$

$$\therefore p = \frac{n_i^2}{N_D^+}$$



### مثال

بلورة سيليكون نقية تركيز الإلكترونات الحرة أو الفجوات بها  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$  أضيف إليها ألومنيوم بتركيز  $10^{12} \text{ cm}^{-3}$  :

(أ) ما نوع بلورة السيليكون الناتجة ؟

(ب) احسب تركيز الإلكترونات والفجوات في هذه الحالة.

(ج) احسب تركيز الأنثيمون اللازم إضافته إلى السيليكون حتى تعود البلورة إلى حالتها الأولى مرة أخرى.

### الحل

$$n_i = 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad N_A^- = 10^{12} \text{ cm}^{-3} \quad n = ? \quad p = ? \quad N_D^+ = ?$$

(أ) بلورة **p-type** لأن الشائبة المضافة ثلاثية التكافؤ.

$$n = \frac{n_i^2}{N_A^-} = \frac{(10^{10})^2}{10^{12}} = 10^8 \text{ cm}^{-3} \quad (\text{ب})$$

$$p = N_A^- = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

(ج) يضاف أنثيمون بنفس تركيز الألومنيوم لتعود البلورة إلى حالتها الأولى مرة أخرى.

$$N_D^+ = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$$

## المكونات أو النبائط الإلكترونية Electronic Components and Devices

المكونات أو النبائط الإلكترونية  
وحدات بناء الأنظمة الإلكترونية.

\* تصنع أغلب النبائط الإلكترونية من أشباه الموصلات غير النقية والتي تتميز بحساسيتها لعوامل البيئة المحيطة مثل : الضوء، الحرارة، الضغط، التلوث بالإشعاع الذري والكيميائي، لذلك تستخدم هذه النبائط كمحسات sensors (وسائل قياس) لهذه العوامل.

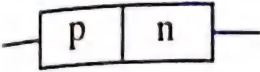
\* أنواع النبائط (المكونات) الإلكترونية :

- ١ مكونات بسيطة : مثل المقاومة (R) وملف الحث (L) والمكثف الكهربائي (C).
- ٢ مكونات أكثر تعقيداً : مثل الوصلة الثنائية (الدايود) والترانزستور.
- ٣ مكونات متخصصة : مثل النبائط الكهروضوئية ونبائط التحكم في شدة التيار.

# الوصلة الثنائية (الدايود) pn Junction

## التركيب :

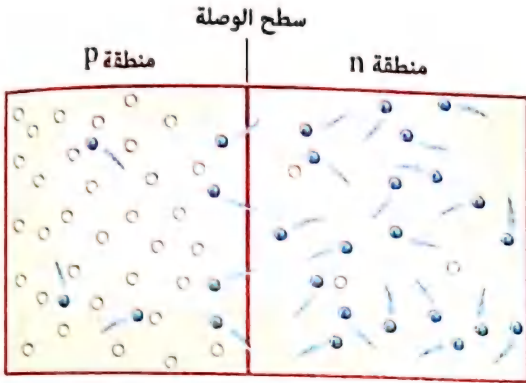
اتجاه التيار الإصطلاحي



تتكون من بلورتين ملتصقتين إحداهما من النوع p والأخرى من النوع n

الرمز في الدائرة الكهربائية : (كاثود (n) - أنود (p))

## شرح العمل :

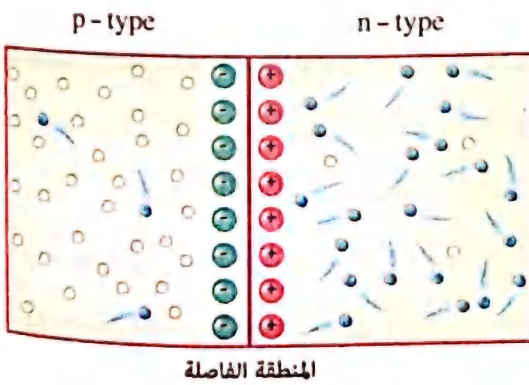


١ في البلورة من النوع p يكون تركيز الفجوات (p) أكبر بكثير من تركيز الإلكترونات (n) أما في البلورة من النوع n يكون تركيز الإلكترونات (n) أكبر بكثير من تركيز الفجوات (p).

### تيار الانتشار

التيار الناتج عن انتشار الفجوات من منطقة البلورة p إلى منطقة البلورة n وانتشار الإلكترونات من منطقة البلورة n إلى منطقة البلورة p عند تلامس البلورتين.

٢ عند تلامس البلورتين يحدث انتشار لكل من الفجوات (p) والإلكترونات الحرة (n) من المنطقة الأعلى في التركيز إلى المنطقة الأقل في التركيز حيث تنتشر الفجوات من المنطقة p إلى المنطقة n كما تنتشر الإلكترونات من المنطقة n إلى المنطقة p وينتج عن ذلك ما يسمى بتيار الانتشار.



### المنطقة القاحلة (الفاصلة)

منطقة خالية من حاملات الشحنة توجد على جانبي موضع تلامس البلورة n والبلورة p في الوصلة الثنائية.

٣ هجرة الإلكترونات من منطقة n-type من شأنه أن يكشف جزءاً من الأيونات الموجبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات، وكذلك فإن هجرة فجوات من منطقة p-type من شأنه كشف جزء من الأيونات السالبة دون غطاء يعادلها من الفجوات، فيتولد على جانبي موضع تلامس البلورتين منطقتين خاليتين من الفجوات والإلكترونات ويتواجد بهما أيونات موجبة جهة n وأيونات سالبة جهة p وتسمى المنطقتين على جانبي موضع التلامس بالمنطقة القاحلة.

## تيار الانسياب

التيار الناتج عن المجال الكهربى الداخلى بين الأيونات الموجبة جهة  $n$  والأيونات السالبة جهة  $p$  على جانبى موضع التلامس وهو ضد تيار الانتشار.

عندما تفقد البلورة  $n$  بعض إلكتروناتها فإنها تكتسب جهداً موجباً، كما تكتسب البلورة  $p$  جهداً سالباً بسبب انتقال الإلكترونات إليها، ويتولد مجال كهربى يكون اتجاهه من البلورة  $n$  (الجهد الموجب) إلى البلورة  $p$  (الجهد السالب) يتسبب فى تولد تيار يسمى بتيار الانسياب ويكون عكس اتجاه تيار الانتشار.

## الجهد الحاجز للوصلة الثنائية

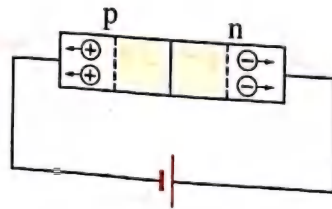
أقل فرق جهد داخلى على جانبى موضع تلامس البلورتين  $p, n$  يكفى لمنع انتشار مزيد من الفجوات والإلكترونات الحرة إلى المنطقة الأقل تركيز لهما.

باستمرار انتقال الإلكترونات والفجوات من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل يزداد فرق الجهد بين البلورتين حتى يصل لقيمة تمنع انتقال مزيد من الإلكترونات من  $n$  إلى  $p$  ويصبح تيار الانتشار = تيار الانسياب، ويطلق على فرق الجهد فى هذه الحالة الجهد الحاجز للوصلة الثنائية، ويعتمد على نوع مادة شبه الموصل المستخدمة ودرجة حرارتها ونسبة التطعيم.

## توصيل الوصلة الثنائية

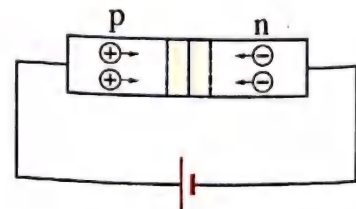
\* توصيل الوصلة الثنائية فى الدائرة الكهربائية بطريقتين :

### التوصيل العكسى (الخلفى)



توصل البلورة (p-type) بالقطب السالب للبطارية والبلورة السالبة (n-type) بالقطب الموجب للبطارية

### التوصيل الأمامى



توصل البلورة (p-type) بالقطب الموجب للبطارية والبلورة السالبة (n-type) بالقطب السالب للبطارية

## سُمك المنطقة الفاصلة

يزداد  
(حيث تتجاذب الفجوات والإلكترونات مع  
قطبي البطارية وتبتعد عن السطح الفاصل)

يقل  
(حيث تتنافر الفجوات والإلكترونات مع قطبي  
البطارية وتقترب من السطح الفاصل)

## أثر فرق الجهد الخارجى على الوصلة

يكون اتجاه المجال الخارجى (الناشئ عن  
البطارية) فى نفس اتجاه المجال الداخلى فى  
المنطقة الفاصلة فيقويه

يكون اتجاه المجال الخارجى (الناشئ عن  
البطارية) عكس اتجاه المجال الداخلى فى  
المنطقة الفاصلة فيضعفه

## جهد الوصلة الثنائية

يزداد عن الجهد الحاجز

يقل عن الجهد الحاجز

## مقاومة الوصلة (R)

كبيرة

صغيرة

## شدة التيار المار (I)

ضعيفة جداً تكاد تكون منعدمة

كبيرة إذا كان الجهد الخارجى أكبر  
من الجهد الحاجز

## استخدام الوصلة الثنائية

## ١ تستخدم كمفتاح

\* عند توصيل الوصلة الثنائية توصيلاً :

عكسياً

أمامياً

فإنها

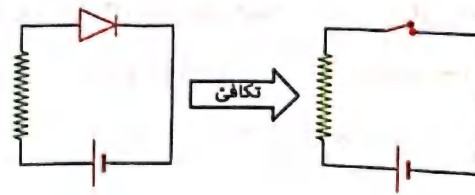
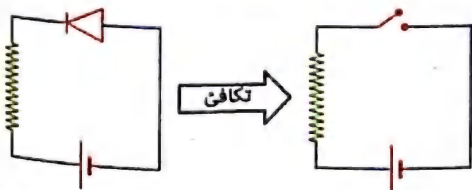
لا تسمح بمرور التيار الكهربى فى الدائرة

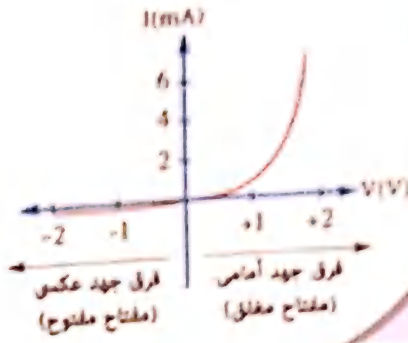
تسمح بمرور التيار الكهربى فى الدائرة

أى تعمل كمفتاح

مفتوح

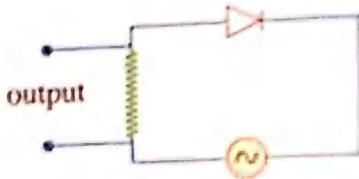
مغلق





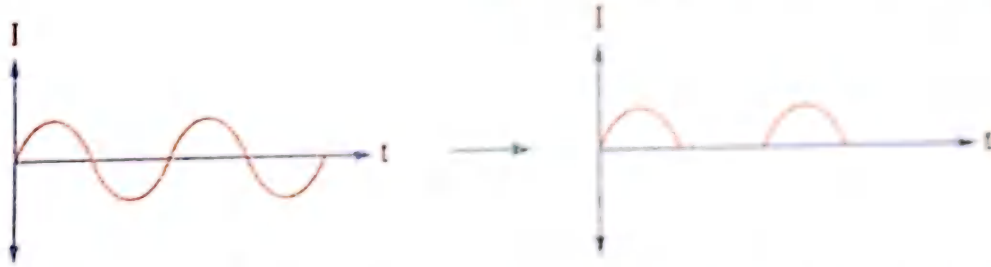
• التمثيل البياني للعلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار في الوصلة الثنائية

## ٢ تقويم التيار المتردد



- نستخدم الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد تقويم نصف موجي.

لأن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار في نصف موجة الجهد المتردد (في حالة التوصيل الأمامي) ولا تسمح بمروره في النصف الآخر (في حالة التوصيل العكسي) وبذلك يكون الجهد الناتج موحد الاتجاه (مقوم تقويم نصف موجي).



- يستخدم التيار موحد الاتجاه في شحن بطارية السيارة وشاحن التليفون المحمول.  
- يمكن تقويم التيار المتردد (AC) وتحويله إلى تيار مستمر (DC) باستخدام عدة وصلات ثنائية.

## ملحوظة

• يمكن استخدام الأوميتر ،

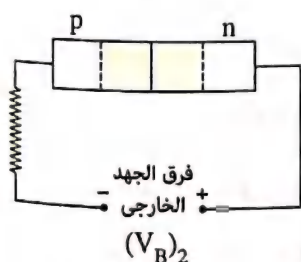
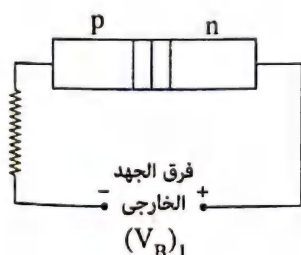
- (١) للتأكد من سلامة الوصلة الثنائية ، حيث تكون مقاومتها صغيرة جداً في اتجاه وكبيرة جداً في الاتجاه العكسي إذا كانت سليمة.
- (٢) للتمييز بين الوصلة الثنائية والمقاومة الأومية ،  
- في حالة الوصلة الثنائية : قراءة الأوميتر كبيرة جداً عند مرور التيار في اتجاه معين وصغيرة جداً في الاتجاه العكسي.  
- في حالة المقاومة الأومية : قراءة الأوميتر لا تتغير إذا انعكس اتجاه التيار.

\* مما سبق يمكن المقارنة بين الوصلة الثنائية والمقاومة الأومية كالتالى :

المقاومة الأومية (العادية)	الوصلة الثنائية	
ملف من سلك لمادة ذات مقاومة نوعية مناسبة مثل التنجستين أو النيكرام	بلورتين n ، p متلامستين	التكوين
الإلكترونات الحرة	الإلكترونات الحرة والفجوات	حاملات الشحنة
يمر التيار خلالها فى الاتجاهين	يمر التيار فى اتجاه واحد ولا يمر فى الاتجاه العكسى	اتجاه التيار المار
تزداد المقاومة الكهربائية وتقل التوصيلية الكهربائية	تقل المقاومة الكهربائية وتزداد التوصيلية الكهربائية	أثر ارتفاع درجة الحرارة
لا تتغير قراءته عند عكس اتجاه التيار	تكون قراءته كبيرة جداً عند مرور التيار فى اتجاه معين وصغيرة جداً فى الاتجاه المعاكس	التوصيل بأوميتر

### معلومة إثرائية

#### التوليف الإلكتروني Electronic Tuning



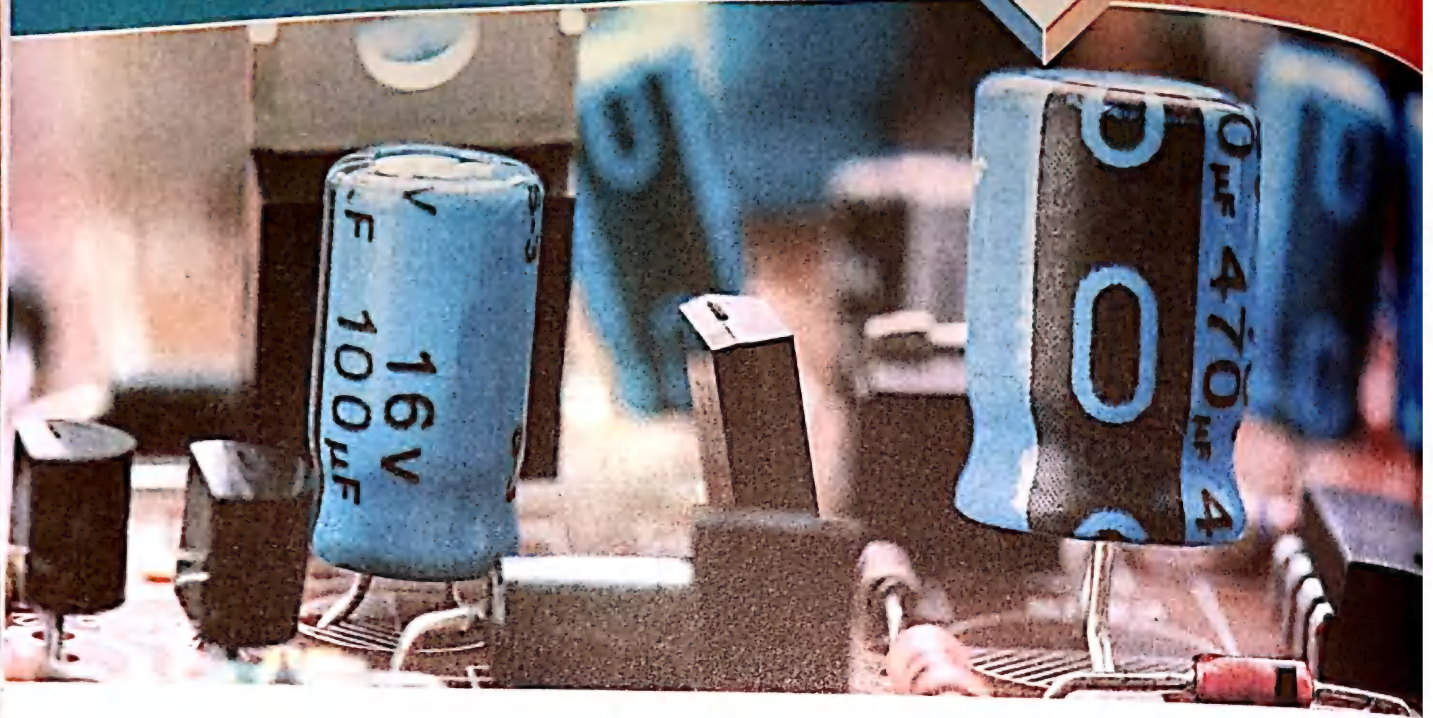
(حيث:  $(V_B)_1 < (V_B)_2$ )

\* لضبط جهاز الراديو أو التلفزيون على محطة معينة نحتاج ضبط قيمة سعة مكثف أو معامل الحث الذاتى لملف حث لتعطى الدائرة تردد يساوى تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين.

\* فى الأجهزة الحديثة يتم تغيير سعة المكثف باستخدام خواص الداىود فى حالة وجود جهد عكسى، إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة كلما زاد الجهد العكسى ولأن زيادة هذا العرض تعنى زيادة الشحنات أى الأيونات فيشبه هذا التغير فى الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفى المكثف.

أى أن : الداىود فى الاتجاه العكسى يكافئ مكثفاً يمكن تغيير سعته حسب فرق الجهد العكسى عليه وهذا ما يطلق عليه التوليف الإلكتروني.





### الترانزستور Transistor

#### التركيب :

- يتكون من ثلاث مناطق متلاصقة من مادة شبه موصلة مطعمة (غير نقية)، هي :
- المنطقة الأولى تسمى الباعث (E) :
  - عبارة عن بللورة شبه موصل متوسطة الحجم بها نسبة عالية من الشوائب.
  - المنطقة الوسطى تسمى القاعدة (B) :
  - عبارة عن بللورة شبه موصل عرضها صغير للغاية (رقيقة جداً) بها نسبة قليلة من الشوائب.
  - المنطقة الأخيرة تسمى المجمع (C) :
  - عبارة عن بللورة شبه موصل كبيرة الحجم نسبياً بها نسبة شوائب أقل من الباعث.

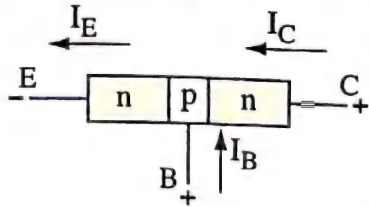
الأنواع : يوجد نوعان أساسيان من الترانزستور، هما :

### ٢ ترانزستور (npn)

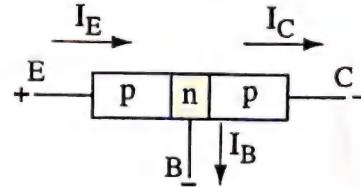
### ١ ترانزستور (pnp)

#### التركيب

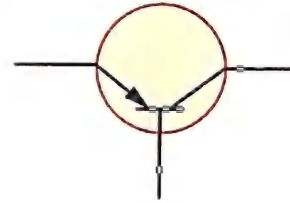
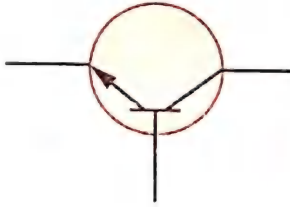
تكون فيه القاعدة من النوع الموجب (p)،  
بينما الباعث والمجمع من النوع السالب (n)



تكون فيه القاعدة من النوع السالب (n)،  
بينما الباعث والمجمع من النوع الموجب (p)



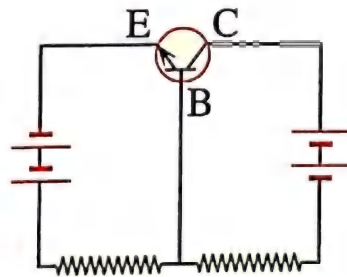
#### الرمز في الدائرة الكهربائية



\* يوجد طريقتان لتوصيل الترانزستور في الدائرة الكهربائية :

### ١ توصيل الترانزستور (npn) والقاعدة مشتركة

شكل الدائرة :



#### طريقة التوصيل في الدائرة الكهربائية :

يوصل الباعث (E) مع القاعدة (B) توصيلاً أمامياً، ويوصل المجمع (C) مع القاعدة (B) توصيلاً عكسياً.

## شرح العمل :

- تنطلق الإلكترونات من الباعث (n-type) إلى القاعدة (p-type) حيث تنتشر فيها بعض الوقت إلى أن يقتنصها المجمع (n-type).
- أثناء انتشار الإلكترونات داخل القاعدة (p-type) تستهلك نسبة صغيرة جداً منها في ملء الفجوات لتحث عملية الالتئام نظراً لأن عرض القاعدة صغير للغاية وبها نسبة قليلة من الشوائب وبالتالي يكون دائماً تيار المجمع ( $I_C$ ) أقل من تيار الباعث ( $I_E$ )، حيث :

$$I_E = I_C + I_B$$

## الاستخدام :

- يستخدم الترانزستور عند توصيله في دائرة القاعدة المشتركة في تكبير القدرة الكهربائية ولا يمكن استخدامه لتكبير التيار الكهربى نظراً لأن تيار المجمع يكون أقل من تيار الباعث.

## نسبة التوزيع ( $\alpha_e$ ) :

- يطلق على النسبة بين تيار المجمع وتيار الباعث نسبة التوزيع وتعطى من العلاقة :

$$\alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$

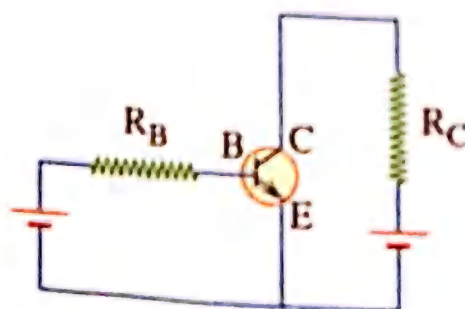
- تقرب قيمة  $\alpha_e$  من الواحد الصحيح، لأن  $I_C \approx I_E$  حيث إن قيمة  $I_B$  صغيرة جداً فتصبح قيمة  $\alpha_e$  قريبة من الواحد الصحيح، وبالتالي يمكن تعريف نسبة التوزيع كما يلي :

## نسبة (ثابت) التوزيع ( $\alpha_e$ )

نسبة تيار المجمع إلى تيار الباعث عند ثبوت فرق الجهد بين القاعدة والمجمع.

## ٢ توصيل الترانزستور (npn) والباعث مشترك

## شكل الدائرة :



### طريقة التوصيل فى الدائرة الكهربائية :

- يوصل الباعث (E) مع القاعدة (B) توصيلاً أمامياً.
- يوصل الباعث (E) مع المجمع (C) بحيث يوصل الباعث بالقطب السالب والمجمع بالقطب الموجب.

### شرح العمل :

- تتنافر إلكترونات الباعث (n-type) مع القطب السالب للبطاريتين ليتجمع تيارى الإلكترونات عند الباعث ويتحرك تجاه المجمع.
- إذا وضعت إشارة كهربائية صغيرة فى تيار القاعدة فإن تأثيرها يظهر مكبراً فى تيار المجمع.

### نسبة التكبير ( $\beta_e$ ) :

يطلق على النسبة بين تيار المجمع إلى تيار القاعدة نسبة التكبير وتعطى من العلاقة :

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B}$$

وبالتالى يمكن تعريف نسبة التكبير كالتالى :

### نسبة التكبير ( $\beta_e$ )

نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة عند ثبوت فرق الجهد بين الباعث والمجمع.

### حساب نسبة التكبير بدلالة ثابت التوزيع :

$$\therefore \beta_e = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\therefore I_C = \alpha_e I_E$$

$$\therefore I_B = I_E - I_C$$

$$\therefore I_B = I_E - \alpha_e I_E$$

$$\therefore \beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e I_E}{I_E - \alpha_e I_E} = \frac{\alpha_e I_E}{I_E (1 - \alpha_e)}$$

$$\therefore \beta_e = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e}$$

### ملحوظة

\* يمكن حساب نسبة التوزيع بدلالة نسبة التكبير من العلاقة :  $\alpha_e = \frac{\beta_e}{1 + \beta_e}$



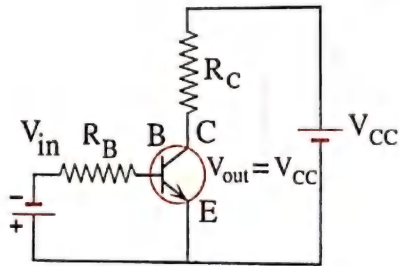
## الاستخدام :

١ يستخدم كمكبر :

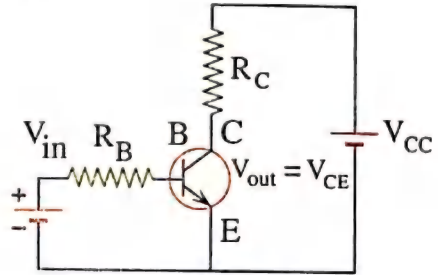
تعتمد فكرة عمل الترانزستور في دائرة الباعث المشترك كمكبر على أنه إذا وضعت إشارة كهربائية صغيرة في تيار القاعدة الصغير يظهر تأثيرها مكبراً في تيار المجمع وهذا ما يسمى فعل الترانزستور.

٢ يستخدم كمفتاح :

الترانزستور في حالة off  
(مفتاح مفتوح)



الترانزستور في حالة on  
(مفتاح مغلق)



طريقة التوصيل

يتم توصيل الترانزستور في الدائرة الكهربائية بحيث يكون الباعث مشترك

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

(حيث :  $V_{CC}$  جهد البطارية،  $V_{CE}$  فرق الجهد بين المجمع والباعث،

$I_C$  تيار المجمع،  $R_C$  مقاومة الدائرة)

### الأساس العلمي

إذا اعتبرنا أن القاعدة هي الدخل (input) والمجمع هو الخرج (output)، فإنه

عند توصيل القاعدة (B) بجهد سالب أو صغير

$V_{in}$  تقل قيمة  $I_C$  فتقل قيمة  $I_C R_C$

فيحدث زيادة لقيمة  $V_{CE}$  ليقترّب من قيمة  $V_{CC}$

أي يكون الخرج كبيراً

عند توصيل القاعدة (B) بجهد موجب أو كبير

$V_{in}$  يمر تيار  $I_C$  كبير في دائرة المجمع

فتصبح قيمة  $I_C R_C$  كبيرة ويحدث نقص لقيمة

$V_{CE}$  أي يكون الخرج صغيراً

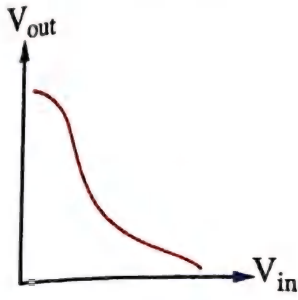
أي أن

الترانزستور لا يسمح بمرور تيار القاعدة

لأن  $V_{out} > V_{in}$  ويعمل كمفتاح مفتوح

الترانزستور يسمح بمرور تيار القاعدة

لأن  $V_{in} > V_{out}$  ويعمل كمفتاح مغلق



\* مما سبق نجد أن الترانزستور يعمل كعاكس أى أنه عندما يكون جهد الدخل ( $V_{in}$ ) للترانزستور كبيراً يصبح جهد الخرج ( $V_{out}$ ) صغيراً والعكس.

### ملحوظة

\* يمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام الأوميتر .

### مثال ١

إذا كان تيار المجمع فى الترانزستور 100 mA عندما كان تيار القاعدة 1 mA ، احسب :

- نسبة التكبير ( $\beta_e$ ).
- نسبة التوزيع ( $\alpha_e$ ).
- تيار الباعث ( $I_E$ ).

### الحل

$$I_C = 100 \text{ mA}$$

$$I_B = 1 \text{ mA}$$

$$\beta_e = ?$$

$$\alpha_e = ?$$

$$I_E = ?$$

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{100}{1} = 100 \quad (1)$$

$$\alpha_e = \frac{\beta_e}{1 + \beta_e} = \frac{100}{1 + 100} = 0.99 \quad (ب)$$

$$I_E = I_C + I_B = 100 + 1 = 101 \text{ mA} \quad (ج)$$

$$\alpha_e = \frac{I_C}{I_E}$$

حلاً آخر:

$$I_E = \frac{I_C}{\alpha_e} = \frac{100}{0.99} = 101 \text{ mA}$$



## مثال ٢

احسب قيمة تيار المجمع ( $I_C$ ) فى دائرة الترانزستور كمفتاح فى حالة التوصيل on عندما يكون جهد المصدر  $1.5\text{ V}$  وفرق الجهد بين المجمع والباعث  $0.5\text{ V}$  وقيمة المقاومة المتصلة بالمجمع  $500\ \Omega$

## الحل

$$V_{CC} = 1.5\text{ V}$$

$$V_{CE} = 0.5\text{ V}$$

$$R_C = 500\ \Omega$$

$$I_C = ?$$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

$$1.5 = 0.5 + (I_C \times 500)$$

$$I_C = 0.002\text{ A}$$

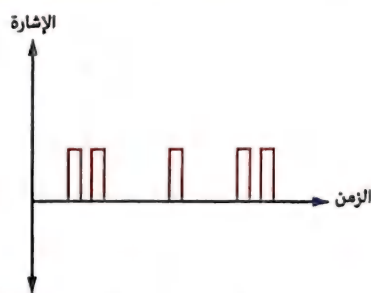
## الإلكترونيات التناظرية والرقمية

\* توجد طريقتان للتعامل مع الجهد الداخلى والخارج من الدائرة الكهربائية، هما :

### الإلكترونيات الرقمية

#### الإلكترونيات الرقمية

إلكترونيات تتعامل مع الكميات الطبيعية بعد تحويلها إلى شفرة غير متصلة أساسها قيمتان فقط هما  $(1, 0)$ .



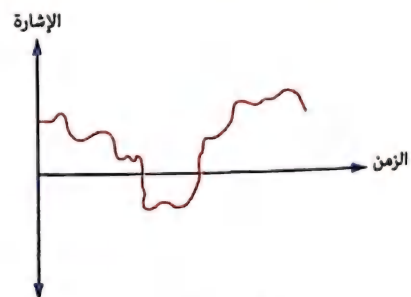
إشارة رقمية

- عند الإرسال : يتم تحويل كل الإشارات الكهربائية المتصلة إلى إشارات رقمية عن طريق محول تناظرى رقمى.
- عند الاستقبال : يتم تحويل الإشارات الرقمية إلى إشارات تناظرية عن طريق محول رقمى تناظرى.

### الإلكترونيات التناظرية

#### الإلكترونيات التناظرية

إلكترونيات تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هى حيث تحولها إلى إشارات كهربية متصلة.



إشارة تناظرية

## تطبيقات

## ١ الميكروفون :

يقوم بتحويل الصوت إلى إشارة كهربية.

## ٢ كاميرا الفيديو :

تقوم بتحويل الصورة إلى إشارة كهربية.

## ٣ التلفزيون :

- عند الإرسال : يتم تحويل الصوت

والصورة إلى إشارات كهربية ثم إلى

إشارات كهرومغناطيسية.

- عند الاستقبال : يتم تحويل الإشارات

الكهرومغناطيسية إلى إشارات كهربية

فى الهوائى «الإيرىال» ثم يعمل جهاز

الاستقبال على تحويلها إلى صوت وصورة.

## ١ التليفون المحمول.

٢ القنوات الفضائية الرقمية.

٣ أقراص الليزر المدمجة (CDs).

## ٤ أجهزة الكمبيوتر :

- كل ما يدخل للكمبيوتر من حروف أو

أرقام يتحول إلى شفرات ثنائية.

- تتجزأ الصور إلى عناصر صغيرة

تسمى Pixels ثم تحول أيضاً إلى

شفرة ثنائية (0 , 1).

- تتم جميع العمليات الحسابية على

أساس الجبر الثنائى.

- يتم تخزين المعلومات فى الذاكرة

المؤقتة (RAM) أو الذاكرة المستديمة

(Hard Disk) على شكل مغنطة فى

اتجاه معين مما يعنى 0 أو مغنطة فى

الاتجاه المضاد مما يعنى 1

## التشويش (الضوضاء الكهربائية)

هى إشارات كهربية غير منتظمة مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات

والتي تسبب تياراً عشوائياً

لا يؤثر على المعلومات حيث إن المعلومة تكمن

فى الكود 0 أو 1 وليس فى قيمة الإشارة

التي قد تتداخل معها الضوضاء وتشوشها

لذلك نجد أن الصورة نقية عند استخدام

أجهزة الاستقبال الرقمية

يؤثر على الإشارة التناظرية حيث تتداخل

الضوضاء الكهربائية مع الإشارة التناظرية

التي تحمل المعلومات وتشوشها لذلك نجد

عيوب فى الصوت والصورة فى أجهزة

الاستقبال التناظرية

## لذلك

يفضل استخدام الإلكترونيات الرقمية عن الإلكترونيات التناظرية

فى الأجهزة الإلكترونية .



## التحويل بين العدد العشري والعدد الثنائي

### ١ تحويل العدد التناظري (العشري) إلى كود رقمي (عدد ثنائي)

\* لتحويل العدد التناظري (العشري) إلى كود رقمي (عدد ثنائي) :

١ اقسم العدد العشري على 2، فإذا :

- كان للعدد الصحيح ناتج باقى ضع 1 فى خانة الباقي.
- لم يكن للعدد الصحيح ناتج باقى ضع 0 فى خانة الباقي.

٢ اقسم الناتج على 2 وهكذا حتى يصبح الناتج أقل من 1 فنضع :

- 0 فى خانة الناتج.

- 1 فى خانة الباقي.

٣ اكتب الأرقام الموجودة فى خانة الباقي بالترتيب داخل القوسين :  $( )_2$

### مثال

أوجد الكود الرقمى للعدد التناظري 19

الحل

العدد التناظري	2	9	4	2	1
الناتج	0	1	2	4	9
الباقي	1	0	0	1	1

الكود الرقمى هو :  $(10011)_2$

### ٢ تحويل الكود الرقمى (العدد الثنائي) إلى عدد تناظري (عشري)

\* لتحويل الكود الرقمى (العدد الثنائي) إلى عدد تناظري (عشري) :

- ١ اكتب الكود (المكون من 0 ، 1) كل رقم على حدة بالترتيب وأسفل كل رقم بداية من اليمين نكتب الرقم 2 مرفوع للأس (0 ، 1 ، 2 ، ...) على الترتيب.
- ٢ اكتب حاصل ضرب الكود (0 ، 1) فى الرقم 2 مرفوع للأس (0 ، 1 ، 2 ، ...) .
- ٣ اجمع الأعداد الناتجة لتحصل على العدد التناظري المطلوب.

مثال

أوجد العدد التناظري للعدد الرقمي  $(10001)_2$ .

الحل

العدد	1	0	0	0	1
النظام الثنائي	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
الناتج	16	0	0	0	1

$17 =$

مجموع النواتج  $17 =$  وهو العدد التناظري المطلوب.

\* تعتبر الإلكترونيات الرقمية هي أساس العديد من الأجهزة والمكونات الإلكترونية مثل البوابات المنطقية، وفيما يلي سنتناول شرحها بشيء من التفصيل.

البوابات المنطقية Logic Gates

\* تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها البوابات المنطقية.

البوابات المنطقية

أجزاء من الدوائر الإلكترونية للأجهزة الحديثة تقوم بالعمليات المنطقية على الإشارات الرقمية (المبنية على الجبر الثنائي).

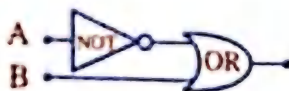
\* يوجد عدة أنواع للبوابات المنطقية، منها :

بوابة الاختيار (OR)			بوابة التوافق (AND)			بوابة العاكس (NOT)		عدد المدخلات والمخارج																																								
مدخلان أو أكثر ومخرج واحد			مدخلان أو أكثر ومخرج واحد			مدخل واحد ومخرج واحد																																										
<table><tr><th colspan="2">input</th><th rowspan="2">output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>			input		output	A	B	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	<table><tr><th colspan="2">input</th><th rowspan="2">output</th></tr><tr><th>A</th><th>B</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>			input		output	A	B	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	<table><tr><th>input</th><th>output</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>		input	output	0	1	1	0	جدول التحقق
input		output																																														
A	B																																															
0	0	0																																														
0	1	1																																														
1	0	1																																														
1	1	1																																														
input		output																																														
A	B																																															
0	0	0																																														
0	1	0																																														
1	0	0																																														
1	1	1																																														
input	output																																															
0	1																																															
1	0																																															

**ملحوظة** 🔍

**مثال ۱**

## الحل

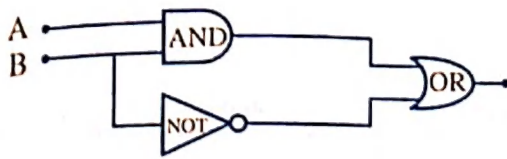


A	B	NOT	output (OR)
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	1

حدد أولاً خرج دائرة NOT ليكون  
أحد دخلى دائرة OR  
ثم أوجد خرج دائرة OR

## مثال ٢

أكمل جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :



A	B	output
0	0	.....
0	1	.....
1	0	.....
1	1	.....

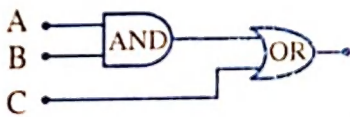
## الحل

A	B	AND	NOT	output (OR)
0	0	0	1	1
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	1	0	1

نحدد أولاً خرجي الدائرتين AND ، NOT  
ليكونا دخل لدائرة OR  
ونوجد خرج OR

## مثال ٣

اكتب جدول التحقق للدائرة المنطقية الآتية :



## الحل

A	B	C	AND	output (OR)
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	0	0	0
1	0	1	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	1	1



# الفهرس

الصفحة	الموضوع
٦ ٧ ٨	<ul style="list-style-type: none"> <li>• أساسيات فيزيائية هامة.</li> <li>• خطوات استخدام الآلة الحاسبة لحل معادلات من الدرجة الأولى في ثلاثة مجاهيل.</li> <li>• الكميات الفيزيائية ورموزها ووحدات قياسها.</li> </ul>
	<b>الوحدة الأولى</b>
	<b>الفصل 1</b>
١١ ١٢ ٢٨ ٤٢ ٥٠	<b>التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرشوف</b> الدرس الأول : التيار الكهربى وقانون أوم. الدرس الثانى : توصيل المقاومات. الدرس الثالث : قانون أوم للدائرة المغلقة. الدرس الرابع : قانونا كيرشوف.
	<b>الفصل 2</b>
٦٠ ٦١ ٧٢ ٩١ ١٠٥	<b>التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى</b> الدرس الأول : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى. الدرس الثانى : تابع التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى. الدرس الثالث : • القوة المغناطيسية. • عزوم الازدواج. الدرس الرابع : أجهزة القياس الكهربى.
	<b>الفصل 3</b>
١٢٣ ١٢٤ ١٣٧ ١٤٨ ١٦٥	<b>الحث الكهرومغناطيسى</b> الدرس الأول : • قانون فاراداي. • القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة فى سلك مستقيم. الدرس الثانى : • الحث المتبادل بين ملفين. • الحث الذاتى لملف. الدرس الثالث : المولد الكهربى. الدرس الرابع : • المحول الكهربى. • المحرك الكهربى.
	<b>الفصل 4</b>
١٧٩ ١٨٠ ١٩٨ ٢٠٨	<b>دوائر التيار المتردد</b> الدرس الأول : دوائر التيار المتردد. الدرس الثانى : تابع دوائر التيار المتردد. الدرس الثالث : • الدائرة المهتزة. • دائرة الرنين.

الصفحة	الموضوع
	<b>الوحدة الثانية مقدمة في الفيزياء الحديثة.</b>
٢١٥	<b>٥ الفصل</b> ازدواجية الموجة والجسيم
٢١٦	الدرس الأول : • إشعاع الجسم الأسود.
	• الانبعاث الحراري والتأثير الكهروضوئي.
٢٣١	الدرس الثاني : • ظاهرة كومبتون.
	• الطبيعة الموجية للجسيم.
	• المجهر الإلكتروني.
٢٤١	<b>٦ الفصل</b> الأطياف الذرية
٢٥٦	<b>٧ الفصل</b> الليزر
٢٦٩	<b>٨ الفصل</b> الإلكترونيات الحديثة
٢٧٠	الدرس الأول : • بلورة شبه الموصل.
	• الوصلة الثنائية.
٢٨٣	الدرس الثاني : • الترانزستور.
	• الإلكترونيات التناظرية والرقمية.

تصريح وزارة التربية والتعليم ١٠٤ - ١٤ - ١ - ٢٥٢

كتب الامتحان  
لا يخرج عنها أى امتحان



الآن بجميع المكتبات  
كتب الامتحان فى

- الكيمياء • الأحياء
- التاريخ • الجغرافيا
- اللغة العربية
- الجيولوجيا و العلوم البيئية
- علم النفس و الاجتماع
- الفلسفة وقضايا العصر

الجزء الخاص بالشرح  
يُصرف مجاناً مع الكتاب

جروب يلا نذاكر ثانوية عامة ٢٠٢١



الدولية للطبع والنشر والتوزيع  
القاهرة - القاهرة

تليفون: ٢٥٨٨٥٥٨٥ - ٢٥٩-٤٣٢٣ - ٢٢/٢٥٨٨٨٨٨٦

[www.alemte7anbooks.com](http://www.alemte7anbooks.com)

Email: [info@alemte7anbooks.com](mailto:info@alemte7anbooks.com)



/alemte7anseries